ABSORPÇÃO DE GASES

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES

C. D. 66.07:542.7

Introdução

O estudo do problema da Absorpção de Gases já foi iniciado no artigo sobre «Extracção» (1), tendo-se obtido expressões análogas às da extracção de líquidos. Para completar esse estudo, resta estabelecer as dimensões e os tipos de aparelhagem e as perdas de carga, atendendo a que o mecanismo da Absorpção é o mesmo da extracção contínua.

CAPÍTULO I

COEFICIENTES DE PROGRESSÃO E CONSTANTE H

a) *Coeficiente de progressão*

Como se viu no artigo citado, tem-se

$$\frac{dQ}{dt} = h_g\, a\, (p - p_i)\, dV = h_l\, a\, (c_i - c)\, dV$$

e

$$p_i = Hc_i$$

O valor de $h_l a$ não apresenta nenhuma dificuldade porque, como vimos, as suas dimensões são $[L^{-1}]$ e as unidades de massa são as mesmas para Q e $(c_i - c)$. Pelo contrário, o valor de $h_g a$ de dimensões $[L^{-2}T]$, tem de ser considerado de novo, porque, em geral, as pressões são expressas em atmosferas ou milímetros de mercúrio; nestas condições, será (2)

$$[h_g] = \frac{MT^{-1}}{[L^2]\ \text{atm}} = [MT^{-1}\, L^{-2}\, \text{atm}^{-1}]$$

e

$$[h_g\, a] = [MT^{-1}\, L^{-3}\, \text{atm}^{-1}]$$

(1) «Técnica», n.º 185, pág. 1065

(2) Ver artigo sobre «Secagem», Técnica n.º 194,

Como se sabe, (1) o coeficiente h_l tem o valor

$$h_l = \frac{D}{B\, \alpha_{dm}}$$

sendo D o coeficiente de difusão, B a espessura do film e α_{dm}, a média logarítmica da fracção molecular do dissolvente.

Para calcular o valor de h_g, apliquemos, ao film gasoso, a expressão

$$\frac{dQ}{dt} = h'_g a\, (c' - c'_i)\, dV\ ,$$

sendo c' e c'_i as concentrações do gás. O valor de h'_g será, nestas condições

$$h'_g = \frac{D'}{B'\alpha'_{dm}}$$

Admitindo que é válida a lei dos gases perfeitos será

$$c = \frac{m}{V} = \frac{\rho\, v}{V} = \frac{\rho\, p}{P}\ ,$$

$$c_i = \frac{\rho\, p_i}{P}\ ,\ \text{e}$$

$$\alpha_{dm} = \frac{p_{dm}}{P}\ ,$$

sendo ρ a massa específica do gás dissolvido, P a pressão total e p_{dm} a média logarítmica das pressões do gás inerte na massa gasosa e na superfície de separação. Substituindo estes valores na expressão de $\frac{dQ}{dt}$ ter-se-á

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{D'\rho}{B'\, p_{dm}}\, (p - p_i)\, a\, dV$$

(1) «Extracção», Técnica n.º 184

Portanto,

$$h_g = \frac{D' \rho}{B' p_{dm}} \quad (^1)$$

Como vimos, também, os coeficientes de progressão são dados em função dos números de Reynolds e de Schmidt; os valores mais modernos foram apresentados por D. W. Van Krevelen e P. J. Hoftijzer (2), e são os seguintes:

$$h_l = 0{,}015 \cdot \frac{D}{\left(\frac{\mu^2}{g \rho^2}\right)^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{\rho U}{a_d \mu}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu}{\rho D}\right)^{\frac{1}{3}}$$

e

$$h_g = 0{,}2 \frac{\rho}{p_{dm}} \cdot \frac{D'}{d} \left(\frac{\rho U}{a^d \mu}\right)^{0{,}8} \left(\frac{\mu}{\rho D}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Nestas expressões há a notar o seguinte:

1) No número de Reynolds o diâmetro d da torre é, substituído por $\frac{1}{a_d}$ sendo a_d o valor do coeficiente a quando a torre está seca, isto é, a relação entre a área total de enchimento e o volume da torre.

2) O coeficiente de difusão D' através da fase gasosa é dado por uma expressão análoga à que foi apresentada no estudo de Extracção (3), mas em que se despreza a influência da viscosidade e em que B é função da temperatura absoluta e da pressão P expressa em atmosferas,

$$B = 0{,}00427 \frac{T^{\frac{3}{2}}}{P}$$

Será, portanto,

$$D = \frac{0{,}00427\ T^{\frac{3}{2}}}{P} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}}}{\left(\sqrt[3]{V_1} + \sqrt[3]{V_2}\right)^2}$$

(1) Como $\rho = \frac{1}{v}$ e $v = \frac{RT}{P}$, esta expressão pode escrever-se

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{D' P}{B' RT\, p_{dm}} (p - p_i)\, a\, dV$$

(2) No artigo «Kinetics of Simultaneous Absorption and Chemical Reaction», publicado na revista «Chemical Engineering Progress» de Julho de 1948.

(3) Técnica n.º 184.

b) *Constante H*

A constante H tem o valor

$$H = \frac{p}{c}$$

As suas dimensões são

$$[H] = \frac{[p]}{[c]} = [L^2\, T^{-2}]$$

Na prática, não é costume exprimir o valor de H desta maneira, porque é mais cómodo utilizar p em atmosferas e substituir a concentração c pela fracção molecular α_M do gás dissolvido; representando o novo valor de H por H' será

$$H' = \frac{p}{\alpha_M}$$

Nestas condições a constante H' é expressa em *atmosferas e o seu valor é dado em tabelas* (1).

Para resolver o problema nos termos em que foi tratado no estudo da Extracção é necessário exprimir H em função de H'.

Representando por n, n_D e M, M_D os números de moléculas e massas moleculares respectivamente do gás e do dissolvente, e por ρ_B a massa específica da solução (que corresponde à fase B do estudo de Extracção) ter-se á

$$c = \frac{m}{V} = \frac{n M}{\frac{n M + n_D M_D}{\rho_B}} = \frac{M \rho_B}{M + \frac{n_D}{n} M_D}$$

Mas

$$\alpha_M = \frac{n}{n + n_D} = 1 + \frac{n_D}{n}$$

e, portanto,

$$\frac{n_D}{n} = \frac{1}{\alpha_M} - 1$$

Mas, como a lei de Henry só é válida para soluções diluidas será

$$\frac{n_D}{n} \sim \frac{1}{\alpha_M}$$

(1) Ver, por exemplo, «Chemical Engineers' Handbook», de J. Perry, pág. 1123 a 1129.

Logo

$$c = \frac{M \rho_B}{M + \frac{1}{\alpha_M} M_D}$$

Como M e M_D são da mesma ordem de grandeza o termo M é desprezível em relação a $\frac{M_D}{\alpha_M}$ e, portanto

$$c \sim \alpha_M \cdot \frac{M \rho_B}{M_D} ,$$

ou

$$\frac{p}{H} \sim \frac{p}{H'} \cdot \frac{M \rho_B}{M_D} ,$$

e, finalmente,

$$H \sim H' \cdot \frac{M_D}{M \rho_B}$$

Nestas condições, as dimensões de H serão $[H] = \frac{\text{atm.}}{ML^{-3}}$.

No caso de não ser possível determinar um valor de H constante, traça-se a curva de p em função de c e procede-se como no caso da extracção marcando p em ordenadas.

A teoria desenvolvida a propósito de extracção contínua de líquidos é inteiramente aplicável. É costume referir a variável x à fase líquida e a y à gasosa, mas deve notar-se que entre as pressões e o valor de y existe, como é fácil de verificar, a relação

$$y = \frac{M}{M_1} \cdot \frac{p}{P - p} ,$$

sendo M e M_1 as massas moleculares do gás a absorver e do gás inerte.

CAPÍTULO II

ABSORPÇÃO COM REACÇÃO QUÍMICA

Pode acontecer que o líquido com o qual se efectua a absorpção reaja quìmicamente com o gás a absorver; por isso é necessário considerar simultâneamente a reacção química e a absorpção física.

O problema resolve-se pelo chamado método de Hatta que consiste em associar as equações da progressão através do film líquido e da reacção que tem lugar nesse film.

A equação velocidade de reacção é variável, como se sabe [1], com a ordem de reacção; no entanto, é costume supor, que a reacção é monomolecular, o que na prática se verifica, por vezes, aproximadamente.

Representando por K a constante de velocidade e por c a concentração será

$$\frac{dc}{dt} = -Kc$$

Mas pela lei de Fick [2] sabe-se que

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

sendo x a distância de um ponto do film à superfície de separação.

Como a velocidade de reacção é só função de t, será $\frac{dc}{dt} = \frac{\partial c}{\partial t}$; portanto igualando as duas expressões e fazendo $\frac{\partial^2 c}{dx^2} = \frac{d^2 c}{dx^2}$, ter-se-á

$$\frac{d^2 c}{dx^2} - \frac{K}{D} c = 0 ,$$

que é uma equação linear de 2.ª ordem de coeficientes constantes [3] e de raízes reais, visto que K e D são ambos positivos; o integral, será, como se sabe

$$c = C_1 e^{\sqrt{\frac{K}{D}} x} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{K}{D}} x}$$

As condições limites são: Para $x = 0$, $c = c_i$ e para $x = B$, $c = c_l$, sendo B a espessura total do film e c_l a concentração final do gás solúvel no líquido.

Ter-se-á, portanto

$$\begin{cases} c_i = C_1 + C_2 \\ c_l = C_1 e^{\sqrt{\frac{K}{D}} B} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{K}{D}} B} \end{cases}$$

---

(1) Química inorgânica e princípios de Química-Física-Cinemática química.

(2) Ver «Extracção», Técnica, n.º 184.

(3) Cálculo diferencial e integral — Equações diferenciais.

Resolvendo o sistema e substituindo no valor de c ter-se-á

$$c = \frac{c_l \, sh \sqrt{\frac{K}{D}} x + c_i \, sh \sqrt{\frac{K}{D}} \left(B - x\right)}{sh \sqrt{\frac{K}{D}} B} \quad (1)$$

Derivando em ordem a x ter-se-á

$$\frac{dc}{dx} = \frac{\sqrt{\frac{K}{D}} \left[c_l \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} x - c_i \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} (B - x) \right]}{sh \sqrt{\frac{K}{D}} B}$$

Aplicando, de novo, a lei de Fick sob a forma de equação de 1.ª ordem, será

$$\frac{dQ}{dt} = - D \, . \, \frac{dc}{dx} \, . \, S$$

Os valores inicial e final $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i$ e $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_f$ de $\frac{dQ}{dt}$ obter-se-ão respectivamente para $x = 0$ e $x = B$; portanto

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i = - \frac{D \sqrt{\frac{K}{D}} \left(c_l + c_i \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} B \right)}{sh \sqrt{\frac{K}{D}} B}$$

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_f = - \frac{D \sqrt{\frac{K}{D}} \left(c_l \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} B + c_i \right)}{sh \sqrt{\frac{K}{D}} B}$$

Nestas condições, a fracção F de gás que atinge a massa de líquido é dada pela expressão

$$F = \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_f}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i} = \frac{c_l \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} B + c_i}{c_l + c_i \, ch \sqrt{\frac{K}{D}} B}$$

Se a solução do gás no líquido for muito diluida será $c_l \sim 0$ e, portanto

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i = \frac{c_i \sqrt{K D}}{th \sqrt{\frac{K}{D}} B}$$

(1) Matemáticas Gerais — Funções hiperbólicas.

Se a concentração c_l não for nula mas muito pequena, esta expressão pode escrever-se, aproximadamente

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_i = \frac{\sqrt{K D}}{th \sqrt{\frac{K}{D}} B} (c_i - c_l) = h'_l \, (c_i - c_l)$$

A partir deste ponto, os cálculos continuam como no caso da absorpção simples, fazendo

$$h'_l = \frac{\sqrt{K D}}{th \sqrt{\frac{K}{D}} B} \; ;$$

para calcular B utiliza-se a expressão conhecida

$$h_l = \frac{D}{B \, \alpha_{dm}} \; ,$$

sendo h_l o valor do coeficiente de progressão no caso da absorpção simples (1).

CAPÍTULO III

APARELHAGEM UTILIZADA

No estudo da Extracção (2) contínua já se fez referência à aparelhagem utilizada; no caso da absorpção de gases, a entrada do gás faz-se sempre pela parte inferior. Os tipos utilizados dependem fundamentalmente da resistência de cada um dos filmes e dos caudais relativos de líquido e de gás; na prática, há fundamentalmente, 5 categoras de aparelhagem de absorpção.

1) *Sistemas em que o gás borbulha no liquido*

Em geral, só se utiliza para a absorpção de gases completamente solúveis e em que, portanto, a absorpção é regulada pelo film líquido.

2) *Câmaras de pulverização*

São câmaras em que o líquido é pulveri-

(1) Para mais detalhes sobre este assunto ver por exemplo «Absorption and Extraction» de Sherwood, 1.ª edição pág. 193 a 236, e o artigo já citado «Kinetics of Simultaneous Absorption and Chemical Reaction».

(2) «Técnica», n.º 186.

zado na massa do gás e utilizam-se quando a absorpção é regulada pelo film gasoso.

3) *Sistemas em que o gás passa sobre massas de líquido*

Aplicam-se no caso em que se libertam grandes quantidades de calor na absorpção. O exemplo clássico é o da absorpção do ácido clorídrico em garrafões de grês ou cuvas de Viteosil.

4) *Torres com enchimento*

O enchimento destina-se a aumentar a superfície livre do líquido e tem de satisfazer às seguintes condições: Pequeno peso por unidade de volume, grande superfície em relação ao volume, grande secção de passagem, grande volume livre, pequena retenção de líquido e elevada resistência química.

Os tipos de enchimento mais vulgares são os seguintes:

Coque, tijolos de vários formatos, anéis Raschig, anéis Lessing, anéis em espiral e selas de Berl.

A descrição dos diferentes tipos de enchimento, assim como a percentagem de espaço livre, área por unidade de volume, peso por unidade de volume e número de peças por unidade de volume, pode encontrar-se por exemplo, em «Chemical Engineers' Handbook» de J. Perry, 2.ª edição pág. 1197 a 1206.

5) *Colunas de pratos*

São análogas às colunas de rectificação [1].

6) *Sistemas com partes mecânicas.*

Em geral são constituídos por órgãos rotativos que lançam o líquido no gás [2].

CAPÍTULO IV

COEFICIENTES DE ABSORPÇÃO

Os valores dos coeficientes de absorpção dependem dos diferentes líquidos e gases e dos tipos de enchimento.

Alguns valores são dados, por exemplo, em «Chemical Engineers' Handbook» de J. Perry, pág. 1171 a 1194.

CAPÍTULO V

PERDAS DE PRESSÃO

As perdas de pressão variam conforme se trata de colunas com enchimento ou colunas de pratos.

a) *Colunas com enchimento*

Utiliza-se a expressão usual para as perdas de carga em canalizações,

$$\Delta P = \lambda . \frac{4 f}{d} . \frac{U^2}{2g} . H,$$

sendo H a altura da torre.

Deve notar-se, no entanto, que, na prática, é costume substituir o número de Reynolds por um número de Reynolds modificado (diferente do que foi definido no estudo da Mistura [1]), substituindo o diâmetro d da torre pela granulometria média L das peças de enchimento; por outro lado, é costume afectar a fórmula de três coeficientes correctivos k_1, k_2 e k_3 e, portanto, fica

$$\Delta P = k_1 . k_2 . k_3 . \gamma . \frac{4 f}{L} . \frac{U^2}{2g},$$

sendo U a velocidade admitindo que a torre não tem enchimento, e que, portanto, é independente do tipo de enchimento.

Examinemos separadamente f, k_1, k_2 e k_3.

1) *Coeficiente f*

É função do número de Reynolds modificado $\rho = \frac{NUL}{\mu}$.

Este valor pode determinar-se gràficamente [2] ou pelas expressões que se indicam a seguir.

---

(1) Ver «Destilação», «Técnica» n.º 198.

(2) Para mais detalhes, ver «Chemical Engineers' Handbook» de J. Perry 2.ª edição pág. 1195 a 1212.

(1) Ver «Técnica» n.º 182.

(2) Por exemplo, «Absorption and Extraction», de Sherwood, pág. 139.

1) *Movimento viscoso ($N < 40$)*

$$f = \frac{850}{N}$$

2) *Movimento turbulento ($N > 40$)*

$$f = \frac{38}{N^{0,15}}$$

2) *Coeficiente k_1*

O coeficiente k_1 tem o nome de *factor de parede* e representa a correcção a introduzir pelo facto de variar a relação entre a granulometria L das peças de enchimento e o diâmetro da torre d. Alguns valores de k_1 são indicados no quadro I.

QUADRO I

$\frac{L}{d}$	k_1	
	Movimento viscoso	Movimento turbulento
0	1	1
0,05	0,9	0,83
0,10	0,83	0,71
0,15	0,77	0,65
0,20	0,74	0,6
0,25	0,72	0,58
0,30	0,71	0,57

3) *Coeficiente k_2*

O coeficiente k_2 que se pode denominar *coeficiente de abertura,* é igual à unidade, por definição, para enchimentos não ocos e tem valores inferiores para outros tipos de enchimento. Alguns valores de k_2 são dados no quadro II.

QUADRO II

Tipo de enchimento	k_2
Coque de 3″	0,6
Anéis Raschig de 1″.	0,8
Anéis em espiral de 3″ × 3″ . . .	0,35

4) *Coeficiente k_3*

O coeficiente k_3 que se pode chamar *factor de humidade* representa a correcção a introduzir em função de quantidade de líquido em circulação. Este coeficiente é igual à unidade quando o enchimento está seco e aumenta com a velocidade do líquido, sendo variável com o tipo de enchimento.

Alguns valores de k_3 são dados no quadro III.

QUADRO III

Tipo de enchimento	Caudal em peso do líquido por m² hora	k_3
Quartzo de 1″	3250	1,63
Quartzo de 2″	3250	1,12
Quartzo de 3″	3250	1,38
Coque de 3″	3250	1,23
Anéis em espiral de 3″ × 3″	3250	1,13 a 1,4
Idem de 6″ × 6″	3250	1,31 a 1,46
Anéis Raschig	3250	1
Tijolos regulares	3250	1,39 a 1,72
Anéis triangulares. . . .	9000	1,2 a 1,5

5) *Velocidades limites*

O aumento do caudal do líquido ou do gás vai aumentando a velocidade até se atingir um valor designado por *velocidade de inundação* para o qual já não é possível uma circulação regular do líquido e do gás. Os valores das velocidades de inundação variam com os tipos de enchimento e podem variar entre 0,5 m/seg a 7,5 m/seg; como regra geral deve trabalhar-se em condições tais que $k_3 < 2$ (1).

b) *Colunas de pratos*

O problema é análogo ao da destilação (2).

(1) Para mais pormenores sobre este aumento, ver «Absorption and Extraction» de Sherwood, pág. 146 a 150.

(2) «Técnica» n.º 198.

A Mecânica do Solo e as suas aplicações

PELO ENG.º CIVIL (U. P.) MANUEL PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS

Antigo Assistente da Faculdade de Ciências do Porto

Director do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo

(Continuação)

C. D. 624.131

As curvas da fig. 92 mostram a necessidade duma espessura total (base e revestimento superficial) de 21″. Esta espessura poderá ser realizada usando um, dois ou três materiais, a consulta das curvas mostra a necessidade de 14″ de solo acima do material n.º 1 e 7″ acima do n.º 2. No outro caso procede-se semelhantemente. O material n.º 3 é sempre de emprego necessário, pois o seu C. B. R. é o único que satisfaz ao valor necessário para a camada subjacente ao revestimento superficial.

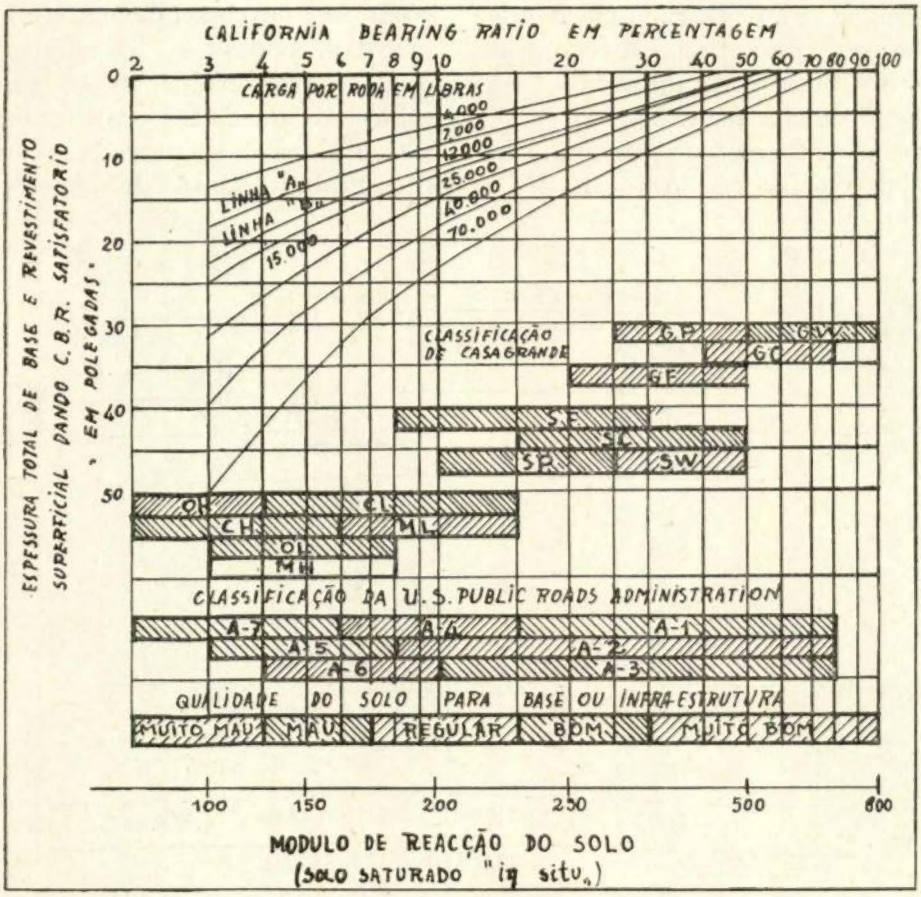


Fig. 92

(Diversos [4] pág. 73)

Notas: 1 — A linha «A» usa-se no projecto de estradas de tráfico restrito.

2 — A linha «B» usa-se no projecto de estradas de tráfico pesado.

3 — A espessura mínima da câmara snperior da base deve variar desde 4″ de material de 40 % C. B. R. para cargas de 4.000 libras, até 8″ de materiais de 80 % C. B. R. para carga de 70.000 libras, quando a camada superficial não existe ou tem menos de 1″.

três dos materiais disponíveis; isto depende da facilidade da sua obtenção e de considerações de ordem económica. A fig. 93 apresenta duas soluções possíveis. Usando os

Convém frisar que os C. B. R. dos diferentes materiais em nada influem na espessura total do pavimento, que apenas é condicionada pelo C. B. R. da infra-estrutura.

21 — Ensaio de C. B. R.

O ensaio é feito com materiais saturados portanto nas condições mais desfavoráveis que se podem apresentar no campo.

É necessário utilizar um equipamento de C. B. R. completo, um forno de secagem, crivos de 3/4″ e 3/16″ B. S., uma bomba semi-automática e uma tina em ferro galvanizado para saturação do material.

Procede-se da forma seguinte: [4]

—Começa-se por desembaraçar o material das partículas retidas no crivo de 3/4″, substituindo-se o peso correspondente à parte retida por um peso igual do mesmo solo, mas passando o crivo da 3/4″ e sendo retido no de 3/16″.

— Determina-se o grau óptimo de humidade pela compactação no molde C. B. R. (se no crivo 3/16″, for retido menos de 50 % do material pode utilizar-se o molde de Proctor) deixando cair o martelo de 4,5 kg da altura de 45 cm por 55 vezes, em cada uma das 5 camadas em que se divide o enchimento.

— Pesa-se um cilindro, aperta-se-lhe o colar e a placa de base e compacta-se uma amostra até ao grau óptimo de humidade precedentemente determinado. Se for provável que a compactação no campo não seja satisfatória, deverá conseguir-se que a amostra compactada apresente sensìvelmente a densidade possível de obter no campo.

Desmonta-se o colar e a placa de base, corta-se o excesso de material no cimo da amostra, e pesa-se determinando a densidade, (para verificar se o grau óptimo de humidade foi de facto atingido).

— Coloca-se de novo a placa de base na extremidade alisada da amostra, monta-se o colar e põe-se o papel de filtro na face exposta. Insere-se um prato perfurado e colocam-se sobre ele sobrecargas anulares, com um peso não inferior a 4,5 kg, fixado de acordo com a experiência.

— Instala-se uma ponte de medida sobre o colar, ajustando a haste do prato perfurado de modo a permitir leituras no micrómetro. Mergulha-se o conjunto em água

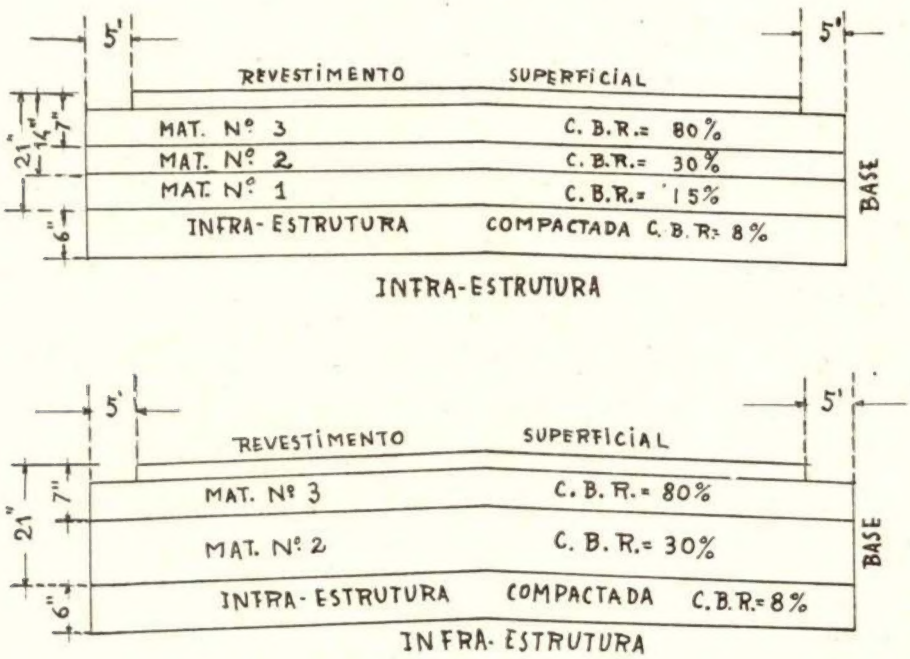


Fig. 93

(Diversos [4] pág. 133)

durante 4 dias (a altura desta deve estar 1,5 cm acima da amostra) até que cesse a expansão da amostra, e tomando leituras duas vezes por dia. (Com argilas, a expansão poderia continuar depois de 4 dias de imersão, contudo tome-se este período).

— Retira-se o cilindro da água, levantam-se os pesos, desaperta-se o colar e deixa-se escorrer durante 15 minutos.

Levanta-se o papel de filtro e pesa-se, para determinar o peso da água absorvida.

— Procede-se depois ao ensaio de penetração (fig. 94) colocando o cilindro com a placa de base e colar no aparelho de ensaio. Devem ter-se em posição as sobrecargas anulares, excepto se se tratar de argilas com grande coesão. Com o macaco faz-se subir a amostra até que a agulha de penetração encoste ao solo e o aparelho de medida registe uma carga leve (4 ou 5 kg). Ajusta-se o micrómetro de maneira a encostar ao cimo do colar e faz-se a sua leitura. Aplica-se a carga com a velocidade aproximada de 0,05″ por minuto, fazendo-se as leituras de carga para penetrações de 0,1″; 0,2″; 0,3″ e 0,5″.

— Depois da penetração determina-se como usualmente o grau de humidade da camada superficial de 2,5 cm da amostra.

— Traça-se o gráfico carga-penetração, permitindo a eliminação gráfica de quaisquer pequenas irregularidades.

— Calcula-se o C. B. R. atendendo à sua definição.

22 — Estabilização de solos

Os métodos de estabilização de solos, cujo desenvolvimento sofreu notável impulso durante a passada guerra, pretendem em última análise assegurar o grau de compactação conseguido numa base ou sub-base, contra a acção da água, do gelo e do tráfico. Para isso torna-se necessário manter em nível conveniente o grau de humidade e as propriedades mecânicas do solo.

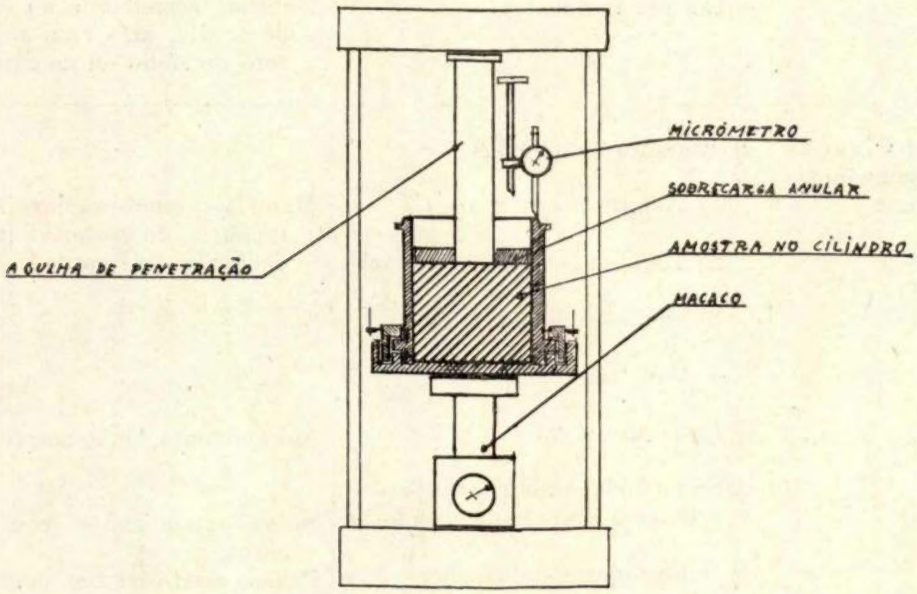


Fig. 94

Como as bases assim constituídas são flexíveis, é necessário conceder uma particular atenção às qualidades da infra-estrutura sobre a qual vão assentar; doutro modo correr-se-ia o risco da destruição do pavimento. É portanto necessário quase sempre o tratamento da infra-estrutura por compactação, mas tendo em atenção que certas argilas têm propriedades mais aproveitáveis no estado natural do que depois de tratadas.

Se lidarmos com infra-estruturas brandas, impróprias para serem cilindradas, é

necessário o uso, a que já fizemos alusão, duma sub-base constituída por cinzas ou material similar, convenientemente espalhadas e cilindradas.

Na estabilização podemos distinguir três diferentes formas de proceder [4]:

a) Estabilização mecânica;

b) Estabilização por adição de substâncias especiais;

c) Estabilização por tratamento a quente do solo.

O quadro seguinte devido à Markwick [4] permenoriza esta classificação:

Processo	Ligante utilizado	Exemplos
I — Estabilização mecânica	*a*) Sem ligante argiloso	
	1) construção a seco	Paralelipípedos, «hard core», macadam construído a seco.
	2) construção com água	Macadam construído com água (só com pedras), coral, laterites, conchas, margas, etc.
	b) Argila	Macadam construído com água, mistura de cascalho-areia-argila ou de areia-argila.
	c) Argila com substâncias químicas deliquescentes	Material semelhante ao das estradas de argila, mas com adição de cloreto de sódio ou de cálcio.
II — Estabilização com substâncias especiais	*a*) Ligantes betuminoss	
	1) Asfalto e «road oils»	Materiais muito variáveis em granulometria do material inerte e percentagem de ligante.
	2) Asfaltos líquidos (cut back)	
	3) emulsões betuminosas	
	4) Alcatrão	
	b) Cimento ou cal	Solo-cimento, betão magro cilindrado.
	c) Substâncias químicas tendo propriedades impermeabilizadoras	Solos estabilizados com resinas e ceras.
	d) Sub-produtos industriais	Bases estabilizadas com sulfitos e certos licores (subprodutos da indústria do papel).
III — Estabilização por tratamento a quente no solo	—	Algumas argilas

O quadro da página seguinte, também devido a Marckwick, regista as possibilidades de utilização dos diferentes materiais.

23 — Estabilização mecânica

Neste processo não se lança mão de agentes estabilizadores, empregando-se solos cuja estabilidade é natural ou pode ser fàcilmente obtida por drenagem e mistura

P = próprio I = impróprio OP = ocasionalmente próprio

Processo de estabilização	Materiais							Observações
	Pedra esmagada	Cascalho	Cascalho com areia e lodo	Areia	Areia lodosa	Limo e lodo	Argila	
Mecânica								
a) sem ligante argiloso	P	P	P	P	I	I	I	Bastante comum na América
b) com ligante argiloso	P	P	P	P	OP	I	I	Numerosas estradas de cascalho no norte dos E. U. e Canadá. Nas estradas do sul usa-se areia argila.
Betuminosos								
a) asfaltos liquidos (cutback) .	P	P	P	P	I	I	I	Bastante usada sobretudo na Florida.
b) Emulsão betuminosa	P	P	I	P	I	I	I	Resultados variáveis nos E. U. Pouco aconselhável em Inglaterra.
c) Alcatrão . . .	P	P	P	P	I	I	I	Usado até certo ponto sobre areias (E. U).
Cimento «Portland»	P	P com adição de finos	P	P	P	OP	I	Muito usado especialmente em solos com pequena percentagem de argila.
Tratamento a quente	I	I	I	I	I	I	P	Muito pouco usado.

As observações dizem respeito à experiência colhida nos E. U. (sobretudo) e Inglaterra,

com outros tipos de solos. Neste caso procede-se à pulverização do solo ou mistura de solos, e compacta-se no grau óptimo de humidade. Para evitar mudanças nesta característica, por evaporação ou entrada de água, será necessário ter em atenção uma drenagem conveniente e um revestimento superficial adequado.

Os pavimentos em paralelipípedos de pedra cabem ainda dentro deste tipo, pois a sua estabilidade está naturalmente assegurada desde que o assentamento se faça com os devidos cuidados.

É no entanto um processo de construção notàvelmente caro, pois não pode fazer-se com auxílio de máquinas.

O uso de pedaços de alvenaria de pedra, tijolo ou betão e até de escórias metalúrgicas lançados sobre o solo, nivelados e cilindrados de forma a produzir uma inter-penetração dos vazios agregados constitui o chamado «*hard core*» em que se aproveita-

ram destroços das demolições causadas em cidades bombardeadas.

Um outro processo de construção de pavimentos denomina-se *macadam a seco* e consiste no espalhamento com máquina própria de pedra solta, de diâmetro variável entre 1 a 5 cm em camadas de 5 a 7,5 cm convenientemente cilindradas. Pode ser necessário, a adição de finos para preenchimento dos vazios; mas normalmente isso consegue-se com o esmagamento de parte da pedra sob o cilindro.

Com uso de água, pode recorrer-se ao *macadam,* e a outros materiais como *coral, conchas, calcáreo brando,* com bons resultados.

Misturas de *areia e argila* encontram-se na Carolina do Norte e do Sul (E. U.) e na Nigéria, fornecendo excelentes bases para estradas de tráfico constituído por veículos com pneus.

Nas zonas tropicais, as *laterites* formam um dos mais importantes materiais para construção de estradas.

O *cascalho,* com ligante argiloso e areia, fornece outro material de largo uso. Para se obter a densidade necessária é necessário que a razão

$$\frac{\%\text{ que passa o crivo n.º 200}}{\%\text{ que passa o crivo n.º 40 U. S. (ou 36 B. S)}} < 0{,}5$$

podendo em certos casos atingir 0,67.

O ligante utilizado nas camadas superficiais deve ter limite líquido inferior a 35 e índice de plasticidade compreendido entre 4 e 9. Nas bases, o índice de plasticidade não deve exceder 6, e o limite líquido deve ser menor que 25.

As bases estabilizadas mecânicamente que não tenham revestimento superficial devem ser tratadas com deliquescentes (cloreto de cálcio, sódio ou magnésio), sobretudo em climas quentes e secos; para climas húmidos já isso se não aconselha.

A impermeabilização poderá ser conseguida com resinas em pó embora tal não seja necessário de forma taxativa.

A *granulometria* desempenha um papel essencial na estabilidade mecânica das bases, devendo os materiais respectivos obedecer às seguintes normas da A. S. T. M.:

Granulometria de materiais para uso em bases estabilizadas

(Norma D-556 — 40 T, da A. S. T. M.)

CRIVOS		Percentagens que passam				
		TIPO A Argamassa natural ou artificial de areia e argila		TIPO B Agregados grossos, naturais ou artificiais		TIPO C Areia, ou resíduos (de cascalho ou pedra)
Crivos U. S.	Crivos B. S. mais aproximados		Descriminação do material que passa no crivo n.º 10 U. S.	B — 1 (Diâmetro máximo 1")	B — 2 (Diâmetro máximo 2")	
2"	2"				100	
1 1/2"	1 1/2"				70 a 100	
1"	1"	100		100	55 a 85	
3/4"	3/4"			70 a 100	50 a 80	100
3/8"	3/8"			50 a 80	40 a 70	—
N.º 4	3/16"			35 a 65	30 a 60	70 a 100
N.º 10	N.º 7	65 a 100	100	25 a 50	20 a 50	35 a 80
N.º 20	N.º 18	ver a	55 a 90	—	—	—
N.º 40	N.º 37	coluna	35 a 70	15 a 30	10 a 30	25 a 50
N.º 200	N.º 200	seguinte	8 a 25*	5 a 15*	5 a 15*	8 a 25*

(*) Percentagem que passa no crivo N.º 200 não deve exceder metade da que passa no crivo N.º 40.

Granulometria dos materiais para uso em camadas superficiais estabilizadas

(Norma D-557 — 40 T, do A. S. T. M.)

		Percentagens que passam				
		TIPO A Argamassa natural ou artificial de areia e argila		TIPO B Agregados grossos, naturais ou artificiais		TIPO C Areia ou resíduos (de cascalho ou pedra
Crivo U. S.	Crivos B. S. mais aproximados		Descriminação do material que passa no crivo n.º 10 V. S.	B — 1 (Diâmetro máximo 1")	B — 2 (Diâmetro máximo 2")	
2"	2"					
1 1/2"	1 1/2"					
1"	1"	100		100		
3/4"	3/4"			85 a 100	Impróprio	100
3/8"	3/8"			65 a 100		—
N.º 4	3/16"			55 a 85		70 a 100
N.º 10	N.º 7	65 a 100	100	40 a 70		35 a 80
N.º 20	N.º 18		55 a 90	—		—
N.º 40	N.º 36		35 a 70	25 a 45		25 a 50
N.º 200	N.º 200		8 a 25*	10 a 25*		8 a 25*

* A percentagem que passa no crivo n.º 200 não deve exceder 2/3 da que passa no crivo n.º 40 V. S.

24 — Estabilização com betuminosos

A função dos betuminosos na estabilização é conservar constante o grau de humidade do solo compactado. Esta compactação faz-se a um grau de humidade inferior ao dado pelo ensaio normal, sendo geralmente utilizado para a sua determinação um *penetrómetro de cone.* É um penetrómetro do tipo já descrito anteriormente, em que o cone tem uma abertura de 90°. No ensaio [4], compacta-se o solo como usualmente num molde próprio, e coloca-se sobre ele o cone, que penetra sob a acção do seu próprio peso P_1 a uma profundidade d_1. Coloca-se em seguida uma carga P_2, inicialmente de 20 kg, e mede-se a penetração d_2 que não deve exceder 0,7 cm (se exceder este valor, reduz-se a carga P_2). A resistência à penetração do cone (C. P. R.) é dada por

$$\text{C. P. R.} = \frac{(\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1})^2}{\pi\,(d_2 - d_1)^2}$$

Traça-se a curva, tomando estes valores para ordenadas e os diversos graus de humidade em abcissas. O andamento daquela é semelhante ao da curva de compactação; o grau de humidade óptimo assim obtido difere do correspondente ao ensaio de compactação A. A. S. H. O. de 3 a 5 % para menos. Este segundo ensaio pode portanto servir de guia.

Para que o solo seja susceptível de estabilização por este processo, convém que 30 % passem no crivo n.º 200, e que possua 15 a 20 % de argila.

Podem utilizar-se os seguintes produtos:

Alcatrão: As características mais aconselháveis são as do alcatrão para estradas inglês n.º 1. Quantidade a usar 5 %, redutível a 3 % se se juntar 4 % de cera de parafina.

Asfaltos: sobretudo líquidos, aplicados nas mesmas condições do alcatrão.

S. S. O. (Soil Stabilising Oil) É um asfalto líquido especial produzido pela Shell

para fins de estabilização, sendo aplicável a solos sem argila (areias e cascalhos). Contém 4 % de cera de parafina. Tem que ser aquecido a cerca de 100° C, mas actualmente já existem certos tipos que se podem utilizar a frio.

Emulsões betuminosas: pouco empregadas.

Com o uso de betuminosos, é essencial assegurar imediatamente a permanência do grau de húmidade por meio dum revestimento superficial conveniente. Pode ser constituído por uma espessura de 5 a 7,5 cm em duas camadas de macadam de alcatrão, ou, ainda melhor, por 5 cm constituídos pelo processo de mistura de areia húmida *(wet sand mix)* ou mistura de pedra e areia húmida *(wet stone-sand mix)*.

A utilização de agregados húmidos foi desenvolvida durante a guerra, sobretudo quando se descobriu que 2 % de cal hidratada permitem constituir um bom asfalto de areia, mesmo não sendo esta seca.

Existem especificações americanas para as características a exigir dos betuminosos, conforme o fim a que se destinam. Um dos mais usados é o *S. R. O. (Special Road Oil)*.

25 — Solo-cimento

A estabilização com cimento pode conseguir-se por dois processos: *betão magro cilindrado* e *solo-cimento. («lean-mix rolled concrete»)*. O fim que se pretende conseguir é a obtenção dum material duro, durável e resistente à acção da água; emprega-se em bases, com revestimento superficial betuminoso, ou em sub-bases, destinadas a receber pavimentos de betão.

O primeiro processo pode utilizar agregados diversos, como cascalho e areias, desperdícios de pedreiras, etc. Não há necessidade destes agregados terem as qualidades normalmente exigidas para os betões, pois a resistência à compressão exigida não excede nunca os 180 kg/cm². De resto, como o material depois de misturado na betoneira e espalhado com uma auto-niveladora, tem que ser cilindrado com cilindro de 8 toneladas, pode empregar-se relativamente seco, e portanto a resistência será maior por ser baixa a razão água/cimento (da ordem de 0,8 a 0,9). A proporção de cimento, variável com a natureza dos agregados, varia de 1:10 a 1:15. A compactação deve ser conduzida a um grau alto.

O processo do *solo-cimento* encontra-se muito mais espalhado, pois permite o emprego duma maior escala de agregados. Mas é essencial a execução de ensaios convenientes, antes e durante a construção.

Em primeiro lugar, convém frizar que nem todos os solos são aconselháveis para serem utilizados neste processo. As duas condições mais importantes a respeitar são as seguintes [4]:

a) boa granulometria, para ser possível a obtenção duma alta densidade compactada;

b) pequena percentagem de matéria orgânica, inferior a 2 % (com tolerância em certos casos até 4 %). Além destas, convém assegurar mais:

c) resistência mínima à ruptura de 18 kg/cm² (aproximadamente 250 libras por pol. quadrada) depois de conservadas as amostras durante sete dias em atmosfera húmida).

d) resistência, sem perda apreciável de material, a 12 ciclos sucessivos de arrefecimento a baixa temperatura e aquecimento.

e) resistência a ensaios de durabilidade, constituídos por 12 ciclos sucessivos de humedecimento e secagem.

f) facilidade de trabalho (maniabilidade).

Para aplicação no solo-cimento, convém classificar os solos em 4 grupos.

O grupo 1 corresponde aos solos arenosos, necessitando de 6 a 10 % de cimento e endurecendo muito notàvelmente.

O grupo 2 já exige 8 a 10 % de cimento, englobando solos lodosos; o endurecimento é ainda notável.

O grupo 3, incluindo os solos argilosos, exige 12 a 14 % de cimento, sendo o endurecimento regular.

Finalmente, o grupo 4 contém os solos que não podem ser tratados convenientemente por este processo.

Resumindo:

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Efeito do tratamento com cimento	Endurecimento muito notável	Endurecimento notável	Endurecimento regular	Não pode ser tratado com sucesso
Tipos de solos	Predominantemente solos arenosos	solos lodosos	Solos argilosos	Solos turfosos altamente orgânicos e argilas compactas
Limote líquido	<50	<50		
Índice de plasticidade	<25	<25		
Percentagem de argila (partículas $<5\,\mu$	<35 %	<35 %		
Resistência à compressão mínima	18 kg/cm² depois de 7 dias em atmosfera húmida			
Perdas admissíveis durante os ensaios de durabilidade (referentes ao peso em seco.	14 %	10 %	7 %	
Variação de volume máximo admissível	2 %	2 %	2 %	
Percentagem normal de cimento (referida ao peso em seco)	6 — 10 %	8 — 12 %	12 — 14 %	

26 — Ensaios normais de solo-cimento

Para assegurar as condições expostas torna-se necessário efectuar os seguintes ensaios de laboratório [4]:

a) *Ensaio de compressão.* A aparelhagem necessária consta de aparelho de Proctor, balança semi-automática sensível ao decigrama, máquina de compressão, recipientes de alumínio, gume recto de aço e crivo de 3/16″ B. S.

Seca-se o material a 105° C, e passa-se pelo crivo 3/16″, rejeitando o que ficar retido neste.

Pesa-se cerca de 3 kg — quantidade suficiente para 3 moldes — e junta-se a percentagem devida de cimento (tendo em atenção o material grosso separado) a mistura faz-se à mão ou mecânicamente, o que é preferível. Completada a mistura a seco, junta-se a água correspondente ao *grau óptimo de humidade* prèviamente determinado para a mistura pelo método de Proctor e compacta-se nos moldes pelo método normal: em três camadas e escarificando o topo de cada camada para assegurar boa aderência da seguinte. A última é nivelada e alisada com o gume recto. No dia seguinte, extraem-se

as amostras dos moldes e conservam-se cobertas durante 7 dias com areia húmida, que no fim deste período é cuidadosamente removida com um farrapo.

Faz-se então o ensaio de compressão na prensa, aplicando a carga a uma velocidade de 70 a 140 kg/cm^2 por minuto.

Dos exemplares ensaiados tiram-se amostras para determinação do grau de humidade.

b) *Ensaio de durabilidade:* Preparam-se duas amostras, para cada percentagem de cimento, em moldes de Proctor, no grau óptimo de humidade. Aplica-se apenas material que passe no crivo N.º 7 B. S.

Mantém-se as amostras durante 7 dias em atmosfera húmida e submetem-se a 12 ciclos constando das operações seguintes:

—pesagem
—imersão em água durante 5 horas
—pesagem das duas amostras e medição da amostra N.º 1
—secagem a 70º C durante 42 horas
—arrefecimento à temperatura ambiente e nova medida da amostra N.º 1
—remoção do material desagregado na amostra N.º 2 por meio de duas escovadelas com escova de aço, pesando-se em seguida.

A amostra N.º 1 utiliza-se na determinação do grau de humidade e a variação de volume, e a N.º 2 para a avaliação das perdas durante o ensaio. Um material satisfatório obedece aos valores anotados no quadro do parágrafo anterior.

c) *Ensaio de arrefecimento e aquecimento.* Este ensaio tem importância quando sejam de recear baixas temperaturas. Consta de 12 ciclos assim constituídos.

—colocação de duas amostras numa geleira a, pelo menos — 10º C; devem dispor-se sobre um leito de areia húmida que permita a absorpção de água durante o arrefecimento.
—remoção das amostras da geleira e sua pesagem; medição da amostra N.º 1
—Conservação em atmosfera húmida durante 22 horas, colocadas em leito de areia húmida.
—pesagem das duas amostras, medição da amostra N.º 1, e pesagem da amostra N.º 2 depois de escovada.

Os resultados devem obedecer às condições do quadro citado.

Durante a construção, é necessário efectuar os seguintes *ensaios de controle:*

a) Verificação do grau de humidade;
b) Verificação da percentagem de cimento em toda a espessura tratada;
c) Ensaios de Proctor do material preparado antes da compactação, para verificar o grau de humidade e a densidade a esperar.
d) Verificação da densidade na base determinada, e também durante o cilindramento liso, para ajuizar da necessidade de modificar os métodos de compactação de forma a atingir a densidade necessária.

27 — Ensaios de emergência de solo-cimento

Durante a guerra foram desenvolvidos certos ensaios de emergência, para uso nas zonas de combate, ou quando se não dispunha dos aparelhos necessários, ou finalmente, quando o tempo urgia.

O essencial a conhecer para realizar uma construção em solo-cimento resume-se nos três valores seguintes:

—quantidade de cimento a juntar para assegurar um endurecimento suficiente;
—quantidade de água a juntar à mistura de solo-cimento;
—densidade a que se deve fazer compactação.

É sempre necessário dispor de aparelhagem para ensaios de compactação e para moldar amostras, ou, pelo menos, de material que permita improvisá-la. Assim se responde às duas últimas alíneas citadas.

Quanto à primeira, usam-se processos designados por «*pick test*» e «*click test*» que só são de interesse quando efectuados por quem tenha prática dos ensaios normais de solo-cimento e portanto saiba interpretá-los.

Convém notar que a quantidade de

cimento assim determinada tem uma margem de segurança, sendo portanto um valor por excesso.

Os trabalhos podem seguir a ordem que vamos registar [4]

a) Inspecção do solo, para determinação dos tipos deste.

b) Colheita de amostras de 25 kg de cada tipo.

c) Ensaio de Proctor para cada tipo de solo, juntando 14 % do peso em cimento.

d) Moldagem de 3 amostras com, respectivamente, 10, 14 e 18 % *do volume* em cimento.

e) Manutenção das amostras durante 3 dias em humidade elevada (em areia húmida ou sob palha ou ervas húmidas), verificando a marcha do endurecimento «pick test».

f) Ao fim dos 3 dias, se necessário, ou de 7 dias se possível, imersão das amostras em água durante 3 horas e aplicação dos «pick» e «click tests» para avaliar o grau de endurecimento do material húmido.

g) Secagem das amostras, e emprego dos mesmos ensaios.

h) Novamente humedecer as amostras e renovar os ensaios.

Vejamos os dois ensaios citados [4].

«*Pick test*» — segurando a amostra numa das mãos bate-se-lhe levemente com um instrumento ponteagudo, como uma pequena picareta, e duma distância de 5 a 7 cm. Se a amostra resistir vai-se aumentando a força do choque. Se o endurecimento for bom, uma amostra com menos de 7 dias, mergulhada em água 3 horas, não deve deixar penetrar o instrumento mais de 3 a a 6 mm. A marcha do endurecimento vai-se seguindo, como foi explicado, desde a moldagem.

«*Click test*» — aplica-se as amostras que satisfizeram ao ensaio anterior. Segura-se uma em cada mão, separadas 10 cm, e batem-se produzindo um som.

Se o endurecimento é satisfatório, esse som deve ser *sonoro*. Se uma das amostras não estiver em condições, o som é *abafado*. Prossegue-se o ensaio até quebrar as amostras, submetendo-se o seu interior ao «pick test».

28 — Camada de desgaste para bases estabilizadas com cimento

Tanto as bases em betão magro, como as do solo-cimento, devem ser protegidas por um revestimento superficial impermeável.

Entre os mais usados figuram de dois tipos, ambos com espessura média de 5 cm.

a) *Tapete de brita e areia.* Podem usar-se os materiais e proporções seguintes:

Brita: 1/2″ a 1/8″ . . . . . 45 - 55 %
Areia: 1/8″ a N.º 200 . . . . 40 - 50 %
Resíduos: passando no n.º 200 5 - 6 %
Alcatrão: penetração 80 a 120 a 35° C — 60 a 70 litros por ton. de agregado
ou Asfalto: penetração 160 a 300 a 25° C — 60 a 70 litros por ton. de agregado.

Seja qual for o ligante, a mistura deve ser feita, colocada e cilindrada a quente:

b) *Tapete de areia:*

Agregado passando 1/4″ . . 100 %
Agregado passando 1/8′ . . 70 - 100 %
Agregado passando N.º 36 . 20 - 60 %
Agregado passando N.º 200 10 - 20 %
Ligante — 70 a 80 litros por tonelada de agregado.

O ligante pode ser:

A) Asfalto: penetração 150 a 300 a 25° C
B) Asfalto liquido (cut back): penetração 75″ — 200 a 25° C
C) Alcatrão penetração: 180″ — 220 a 30° C
D) Alcatrão » 30″ — 60 a 30° C

O ligante e o agregado devem ser aquecidos separadamente antes da mistura. Empregando os ligantes A) ou C), a colocação e cilindramento devem ser feitos a quente; com os ligantes B) ou D) já se pode proceder a frio a essas operações, mesmo alguns dias após a mistura. Mas o seu endurecimento é mais lento.

O tapete de brita e areia pode ser usado algumas horas depois de executado, se se empregar asfalto; ou 24 horas depois usando alcatrão.

O tapete de brita e areia apresenta maiores resistências com o ligante A); se não se puder obter, segue-se-lhe o ligante C).

29 — Uso de calcáreos

Só devem ser usados como agregados em betão quando outros não estejam disponíveis. E mesmo assim, apenas os tipos mais duros podem ser utilizados.

Para outros empregos, não dispomos de conclusões seguras, parecendo que podem ser esmagados, compactados e cilindrados da maneira usual, embora apresentem menor resistência à acção do gelo.

30 — Estabilização com substâncias polares [3] [4]

Uma vez obtida a resistência ao corte conveniente dum dado solo, a manutenção do valor alcançado para esta característica pode ser obtida pela adição de certas substâncias capazes de manterem constante o grau de humidade e impedirem acções capilares. Assim se consegue a ausência de pó no tempo seco e de lodo no tempo das chuvas.

Já nos referimos à utilização de certos sais deliquescentes (como os cloretos de sódio ou cálcio) que pela sua natureza, agem como reguladores da humidade. Agora queremos tratar de certas substâncias capazes de polarizar a luz, cujas moléculas são assimétricas, apresentando um *carboxilo* (grupo com afinidade para a água) num dos extremos e uma cadeia de parafina (que por sua vez repele a água) no outro. Essas substâncias colocadas no solo e em presença da água formam membranas de extremamente pequena espessura, ficando em contacto com a água os grupos absorventes desta, enquanto a superfície exterior da membrana impede as acções capilares pela repulsão da humidade.

Podem classificar-se neste grupo certas resinas (das quais algumas, como o «*Vinsol*» constituem produtos patenteados), seus derivados, como *resinato de sódio* e algumas *ceras*.

A mais impressionante das vantagens do seu emprego consiste na quantidade necessária, que é de cerca de 1 % do peso do solo seco. Além disso presta-se ao tratamento duma maior variedade de solos que os outros estabilizadores; depois de usada uma estrada assim construída pode ser sacrificada e novamente compactada; e finalmente, a construção não é afectada por chuvas durante a construção, como sucede com o solo-cimento.

31 — Estabilização por aquecimento ou por tratamento eléctrico [3]

Em alguns casos tem-se empregado o aquecimento prévio das argilas, a usar como agregados, ou o seu aquecimento no próprio local. A utilização deste processo tem sido contudo muito restrita, e poucos elementos se conhecem sobre ele.

Por outro lado, a aplicação de corrente eléctrica para o endurecimento das argilas tem sido empregada com sucesso. Em argilas brandas de alto grau de humidade, a colocação de dois electrodos de alumínio, provoca a secagem e aumento de consistência junto ao ánodo, devido provàvelmente ao fenómeno da electrólise e electro-osmose, sendo os iões de cálcio ou de sódio presentes na argila substituídos por iões de alumínio.

32 — Breve análise dos modernos processos de construção

As ideias correntes desde há muito sobre os métodos de construção de pavimentos e infra-estruturas sofreram nos últimos anos uma evolução notável, cujas características principais residem na mecanização do trabalho, na elevada potência das máquinas empregadas e, sobretudo, na substituição dos conhecimentos empíricos por outros dotados de série base científica.

Limitar-nos-emos aqui a dar uma breve resenha daqueles processos que mais se afastam dos outros seguidos.

Três métodos distintos condicionam a forma de se efectuarem as misturas de solos entre si ou com estabilizadores, a saber:

1.º — Estaleiro fixo (*stationary plant*)

2.º — Estaleiro móvel (*travelling plant*)
3.º — Mistura no próprio local (*mix-in-place*).

33 — Construção por mistura no local [4]

É talvez o método que mais se afasta das concepções clássicas.

Comecemos por estudar as características do material a empregar, que de resto tem também aplicação nos outros métodos.

a) *Auto-niveladoras.* Existem de diferentes tipos, sendo as mais usadas munidas de lâmina de 3,60 m, muitas vezes equipadas com um escarificador.

b) *Equipamento agrícola.* Empregam-se *arados,* capazes de revolverem o solo até à profundidade de 14 cm; *grades de discos* e por vezes *grades de pontas* e *grades lisas.* As grades de discos devem ter, se possível, 2,70 m de largura, podendo ter mecanismo regulador da profundidade a que penetrem. Discos de 50 a 60 cm permitem obter uma boa pulverização do solo até 15 cm de profundidade; o emprego de discos menores pode obrigar a utilização de arados para trazer o material não pulverizado à superfície e permitir o seu tratamento por esses discos.

c) «*Scrapers*». São usados na remoção, transporte e colocação de terras.

d) *Cilindros lisos.* São hoje muito pouco usados para fins de compactação, por terem efeito apenas nas camadas superiores e deixarem as superfícies lisas com pouca ligação com as inferiores. Empregam-se contudo em acabamentos, depois dos cilindros de rodas pneumáticas. O seu peso deve ser de 6 a 8 toneladas.

e) *Cilindros de pé de carneiro.* Têm um larguíssimo emprego nas operações de consolidação. A secção de cada pé deve ser de 10 a 15 cm^2 (para construção de barragens de terra, 25 a 50 cm^2).

As pressões, variáveis com o tipo de solo, estão compreendidas entre 10 a 20 kg/cm^2. As pressões mais altas obtêm-se enchendo com água o tambor:

Em solos arenosos: 7 kg/cm^2
Argilas arenosas e argilas soltas: 7 a a 15 kg/cm^2
Argilas compactas e solos contendo agregados: 15 a 20 kg/cm^2.

A forma mais aconselhável para os pés é a de tronco de pirâmide, com 17,5 cm de altura, 12,5 × 12,5 cm na base e 10,5 × × 10,5 cm no topo.

O número de passagens do cilindro para obter a compactação necessária varia de 10 a 22. Se não se consegue a densidade desejada, isso pode ser atribuído a ser baixo o grau de humidade, possìvelmente por evaporação. Corrige-se então este:

Terminado o cilindramento, o solo deve ser convenientemente gradado para destruir qualquer irregularidade que se tenha formado, e pulverizado até à profundidade de 2,5 cm, a fim de se preparar para o cilindramento com o cilindro de rodas pneumáticas.

f) *Cilindros de rodas pneumáticas.* Devem ter pelo menos 5 rodas no eixo trazeiro e 4 no da frente, com rastos desencontrados; podem ser carregados com 3 toneladas de balastro, pedaços de ferro, etc.

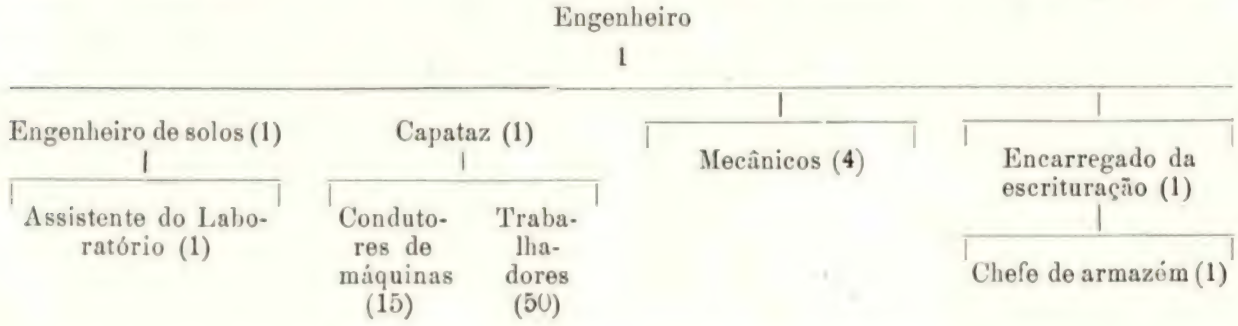
A pressão dos pneus pode variar de 2,8 a 4,2 kg/cm^2.

g) *Tanques de água:* Devem ser munidos de bomba, para assegurarem uma distribuição da água uniforme e sob pressão.

Para a execução de 4 500 m^2 de 15 cm de camada consolidada por dia de 10 horas de trabalho pode usar-se o seguinte material:

Auto-niveladoras ou «bulldozers» com lâmina de 3,60 m	2
Tractores de lagartas de 40 H. P.	4
Tractores de pneus de 30 – 40 H. P.	2
Grades de discos	3
Arado pesado	1
Grade de molas	2
Grade de dentes	1
Grade lisa	1
Cilindro de pés de carneiro	2
Cilindro de rodas pneumáticas	1
Cilindro liso de 6 – 8 toneladas	1
Tanque de água de 450 litros	2
Camiões de 2 toneladas	6

Um esquema da organização do pessoal pode ser o seguinte:



Para a estabilização com o rendimento citado, os materiais necessários são, conforme o estabilizador empregado:

Cimento (12 %)	125 ton.
Vinsol (1 %)	10 1/2 ton.
Água	3 – 6 %
Óleo combustível para tractores	450 litros
Gasolina	675 litros
Óleo lubrificante	180 l/semana
Massa lubrificante	25 kgs/sem.

Convém dispor dos seguintes barracões transportáveis:

2 de 3,60 × 3,00 m para o engenheiro e encarregado do escritório
1 de 3,60 × 3,00 m para o laboratório de campo
1 de 6,00 × 3,00 m para o armazém
1 de 5,40 × 3,60 m para os mecânicos e sua aparelhagem.

Como em todos os métodos, o seu emprego é precedido pela conveniente inspecção do solo e ensaios de laboratório, que decidem o caminho a seguir.

Assim, poderá chegar-se à conclusão de que uma estrada em betão de argila é aconselhável. Isso pode ser conseguido, em solos argilosos, pela adição de material granuloso em quantidade e qualidade satisfatórias, ou, em solos arenosos, pela adição de argila. Por vezes, a adição consta apenas duma camada superficial de mistura natural de argila e areia, obtida nos campos próximos. A experiência americana (Georgia) mostrou que para tráfico leve, de 400 a 600 veículos por dia, as condições de conservação são satisfatórias, sobretudo em presença dum tapete betuminoso (6 a 8 anos de duração, mas com despezas de conservação).

Outras vezes, mostrando-se o solo natural com más condições de estabilização, poderá recorrer-se ao uso de cascalho de jazigos próximos, utilizável tal qual, ou com mistura de argila ou do próprio solo.

Areia que exista próximo pode conduzir a uma base estabilizada com S. S. O. depois de misturada com solo natural ou argila.

Obtendo-se brita, poderá convir uma base de cerca de 15 cm, do tipo macadam construído com água, e por vezes adição de deliquescentes.

A estabilização do solo natural com os produtos já estudados fornece ainda uma outra possibilidade, quase sempre a mais seguida.

Vejamos a sequência das operações para aplicações do método de mistura no local.

Vamos para isso exemplificar com o caso do solo-cimento que é o mais empregado, embora o uso de Vinsol e de betuminosos também possa ter lugar pelo mesmo processo.

a) *Piquetagem.* Define-se a linha média da estrada ou pista com cavilhas niveladas, a intervalos de 30 m, e bem assim os lados com cavilhas niveladas de forma a acusarem o abaulamento.

Na gradagem final, as cavilhas devem ser colocadas com intervalos menores, da ordem dos 7,5 m.

b) *Remoção da camada superficial.* A camada de solo orgânico superficial deve ser removida, até 7,5 ou 10 cm pelo menos, de forma a arrancar as raizes. Por vezes é

necessário ir até 15 cm de profundidade. Utilizam-se «scrapers».

c) *Preparação do solo.* Nivela-se segundo as cavilhas, utilizando auto-niveladoras se os declives são uniformes (longitutinal e transversalmente) ou «scrapers» se é necessário formar abaulamento, e se se deseja obter maior rigor no trabalho. Colocam-se depois cavilhas de nivelamento separadas 7,5 m e passa-se a auto-niveladora de forma a obter superfície uniforme.

d) *Correcção do solo.* Sendo necessário a adição de argila a solos arenosos, ou de cascalho a solos argilosos, amontoa-se o material sobre a superfície preparada e com auto-niveladoras espalha-se em camada uniforme da espessura correspondendo à percentagem a empregar.

e) *Remeximento do solo.* Com arados, remexe-se o solo até cerca de 1 cm ou de 1,5 cm a menos da espessura tratada a formar (para espessura de 10 cm, até 25 cm, e para espessura de 15 cm até 13,5 cm).

Uma só passagem de arados é suficiente para solos incoerentes ou para solos coerentes de grau de humidade conveniente.

Se a humidade for muita, é necessário permitir a evaporação entre algumas passagens consecutivas dos arados.

f) *Pulverização do solo.* Utilizando grades de discos, procura-se obter que 80 % do solo (exceptuando cascalho e pedras) passem no crivo de 3/16″. Por vezes é necessário obrigar o solo não pulverizado a vir à superfície, lançando novamente mão dos arados. Convém que a espessura do solo pulverizado exceda em 3,5 a 4 cm a espessura do solo compactado que se pretende obter.

Para se manter a superfície bem uniforme e nivelada, pode recorrer-se à acção da grade de dentes e de auto-niveladoras. Com efeito tanto os arados como as grades de disco arrastam lateralmente o material.

Muitas vezes convém proteger o solo preparado com «sisal-kraft» ou outro papel preparado, para evitar a acção duma chuvada forte no intervalo que medeia entre a conclusão destas operações preliminares e o começo da estabilização.

Atingido este ponto, se o solo não necessita a adição de estabilizadores, procede-se às operações de compactação. No caso contrário, é necessário executar mais os seguintes trabalhos.

g) *Formação de juntas.* Ao longo dos bordos passa-se um arado de forma a abrir um sulco onde se possam instalar barrotes de 15 × 15 cm colocados topo a topo. São cuidadosamente alinhados e nivelados, fixando-se ao solo com cavilhas de 2,5 cm e 45 a 60 cm de comprimento, que passam por furos prèviamente deixados na madeira. Têm por fim resistir à pressão lateral exercida pelas máquinas durante a construção.

O mesmo processo se observa na ligação de duas secções executadas em dias diferentes. Pode colocar-se uma plataforma de pranchões na parte acabada, até pelo menos 4,20 m, cobertos com 10 cm de terra, que forma rampa para o lado a construir. Quando se atingem as operações de compactação, retira-se o barrote de 6″ × 6″, deixando o material novo encostar ao outro e consolidando-o, com 2,5 cm acima do outro, ao pé da junta. Essa elevação desfaz-se mais tarde com a auto-niveladora. A fig. 95 dá uma ideia do processo.

h) *Colocação do cimento:* Em alguns casos da prática americana, o cimento é distribuído mecânicamente, com o auxílio de carros próprios.

Mas geralmente procede-se à sua distribuição manual.

As operações respectivas levam então cerca de duas ou três horas, pelo que convém começar cerca de uma hora após o início do trabalho do dia, hora essa gasta em controle das estacas de nivelamento, acabamento da pulverização, colocação dos barrotes nas juntas, etc. Ficam então cerca de 6 horas do dia de trabalho para as operações que se seguem à distribuição.

A colocação dos sacos pode fazer-se ou em montes situados à beira da estrada, ou, de preferência, directamente na sua posição, descarregados dum reboque. A separação entre sacos é determinada pelo engenheiro de solos.

Abrem-se então os sacos num dos extremos com pás aguçadas, seguindo-se outra brigada de trabalhadores que os despejam,

cuidadosamente para que não haja dispersão com o vento. O espalhamento faz-se com grade de dentes, por vezes tendo atrelada uma grade lisa, rebocada por um tractor com pneus. Geralmente bastam 3 ou 4 passagens para ser ser assegurada uma distribuição uniforme.

i) *Mistura a seco.* Uma passagem (pelo menos) do cultivador de dentes flexíveis revolve o solo, fazendo-o cobrir de cimento e impedindo perdas deste pela acção do vento. Segue-se o uso da grade de discos e novamente o cultivador de dentes flexíveis até que a mistura tenha atingido um grau suficiente. O arado permite então trazer à superfície solo ainda não misturado, seguindo-se novas aplicações dos dois aparelhos.

Por meio de buracos e pequenas trincheiras cavadas no terreno e espaçamentos convenientes, faz-se o controle da profundidade atingida pela mistura (cerca de 18,5 a 22 cm) e também do grau de uniformidade atingido, posto em evidência pela mesma cor em toda a profundidade. Então pode considerar-se terminada a operação.

É necessário ter em conta um certo número de precauções.

Assim, a manobra do equipamento deve ser dirigida de forma a não lançar o material para fora da faixa em tratamento, o que obrigaria a apanhá-lo à pá. Por outro lado, a mistura deve merecer cuidados especiais junto das bordas onde convém passar o arado, misturar e nivelar. Em certos solos em que o cimento tem tendência a acumular-se no fundo das camadas, o emprego judicioso dos arados é também de aconselhar.

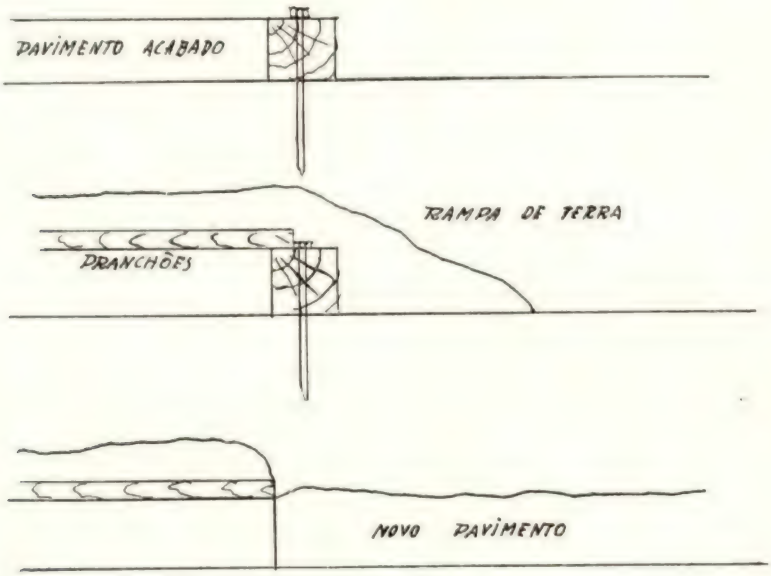


Fig. 95

Terminada a mistura a seco, colhem-se amostras a fim de se determinar o grau de humidade e portanto a percentagem de água a juntar. Para evitar a formação de covas ou depressões onde a água se acumule, um nivelamento geral deve ter lugar então.

j) *Mistura húmida.* A adição de água levanta em geral importantes problemas ligados ao facto de que toda a água necessária à secção em testamento deve ser distribuída em cerca de três horas. O número e forma de abastecimento dos camiões-tanques deve ser cuidadosamente examinado; normalmente 3 tanques são suficientes. Convém montar uma bomba no ponto de abastecimento para diminuir o tempo aí gasto. O caudal de rega deve ser regulado de forma que cada camião se esvazie percorrendo uma só vez a secção.

Na avaliação da percentagem de água a

empregar, deve ter-se em conta a evaporação; em climas não excessivos toma-se por vezes 2 % acima do grau óptimo de humidade. É preciso notar que, quando a obtenção de água não é fácil, é possível não fazer essa correcção, ou fazê-la parcialmente, resultando daí um menor grau de compactação, o que não tem grande importância se o máximo da curva densidade/grau de humidade não for muito acentuado.

A mistura húmida processa-se da maneira que segue.

Após o lançamento da água de cada tanque, imediatamente se remexe o terreno com grade de dentes, cultivador de dentes flexíveis e grade de discos. Quando já se distribuíu metade de água a ser empregue, passam-se os arados, imediatamente seguidos dos cultivadores de dentes flexíveis. Depois as operações seguem como anteriormente, devendo a gradagem continuar mesmo depois de terminada a rega, até se conseguir uma mistura bem uniforme. Controla-se então o grau de humidade, e passa-se finalmente, como preparação para a compactação, o cultivador de dentes flexíveis.

b) *Compactação.* A compactação pode começar pelo uso de cilindros de pé de carneiro do tipo aconselhável para o solo empregado, passando-se até obter a densidade desejada (10 a 12 vezes). Em seguida nivela-se a superfície, pulveriza-se a camada superficial de 2,5 cm, como preparação para o cilindramento com cilindro de rodas pneumáticas, rebocado por um tractor com pneus. Se não se conseguir com estes uma superfície bem unida ou se se formarem fendas, é sinal da falta de água; convém regar, exigindo uma pequena aplicação de água (de 0,5 a 1,5 litros por m^2). O cilindramento termina quando se obtém uma superfície bem acabada. Imediatamente, duas passagens de cilindro liso asseguram o acabamento final.

l) *Protecção.* Durante pelo menos 7 dias é benéfico o uso duma protecção de papel impermeável, ou de terra, areia, ervas, etc., conservadas húmidas. Há quem aconselhe em lugar disso que seja permitido tráfico ligeiro de automóveis, passando-se uma auto-niveladora 10 dias depois.

m) *Revestimento superficial.* Já indicámos anteriormente dois tipos de tapetes betuminosos impermeáveis muito usados para revestimento superficial de estradas deste tipo.

Evidentemente, outros tipos podem ser usados, por exemplo construindo uma camada impermeável logo após o cilindramento (ou, segundo outros, após os 7 dias de amadurecimento do solo-cimento) obtido por rega do pavimento com óleo de estrada ou asfalto líquido, com 1 a 2 litros por m^2 e com penetração apenas de 3 a 12 mm.

Terminada a penetração (24 horas) aplica-se uma camada de desgaste, cuja composição pode ser muito variável conforme o fim a que se destina: desde uma simples rega de alcatrão ou asfalto com areia ou resíduos até um pavimento betuminoso de 5 ou 7,5 cm de espessura, para tráfico pesado (bombardeiros).

34 — Construção com estaleiro móvel [4]

Só por alturas de 1930 apareceu nos E. U. este método, procurando juntar as vantagens da construção por mistura no local com a de estaleiro fixo.

Existem máquinas de diferentes características para este fim. As figs. 96 e 97 dão o esquema das máquinas «Barber-Greene»; a primeira é misturadora, a segunda destina-se ao acabamento do pavimento. À medida que caminha ao longo da estrada, a primeira máquina carrega a pedra e areia disposta ao longo dela; na câmara de mistura junta-se ao asfalto, cuja introdução é automática e regulada pelo próprio movimento da máquina. A mistura é então expulsa, sendo o pavimento regularizado pela segunda máquina.

Este método de construção pode ser empregado não só com betuminosos, mas com qualquer outro tipo de estabilizador. Com estabilizadores líquidos, o tanque de abastecimento liga-se com uma mangueira à «Barber-Greene» deslocando-se com esta até se esgotar.

O asfalto passa por aspiração para o tanque ligado à máquina, a partir do tanque de abastecimento onde se deve encontrar

à temperatura conveniente. A reserva assim feita na própria máquina permite que o trabalho continui sem interrupção quando é necessário substituir um tanque de abastecimento vazio por outro cheio, operação que pode levar cerca de meia hora.

O fornecimento de água faz-se da mesma maneira, mas o tanque de reserva só pode ser utilizado quando se empregam estabilizadores em pó. Os sacos destes colocam-se ao lado da estrada, com um espaçamento correspondente à quantidade a misturar ao solo que se vai carregando do monte estabelecido ao longo da estrada.

As operações iniciais a executar são as mesmas do método anterior até à pulverização do solo, inclusivé. Em seguida, procede-se da forma que se vai explicar.

a) *Amontoamento do solo.* O solo pulverizado na operação anterior é arrastado com auto-niveladoras de forma a constituir um monte colocado ao longo do centro da faixa de 6,00 m trabalhada, tendo-se o cuidado de assegurar a regularidade de dimensões desse amontoamento. No caso de serem necessárias operações de compactação ou estabilização da infra-estrutura, então as auto-niveladoras começam por arrastar o solo para fora da faixa, e só depois desses trabalhos concluídos é que se forma esse monte central.

A evaporação agora só tem lugar na

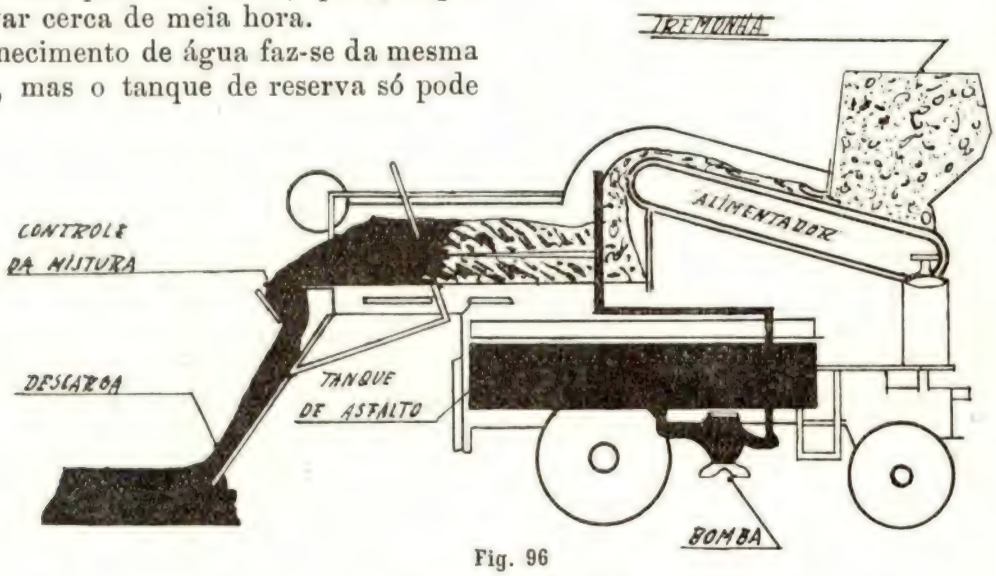


Fig. 96
(Diversos [4] pág. 184)

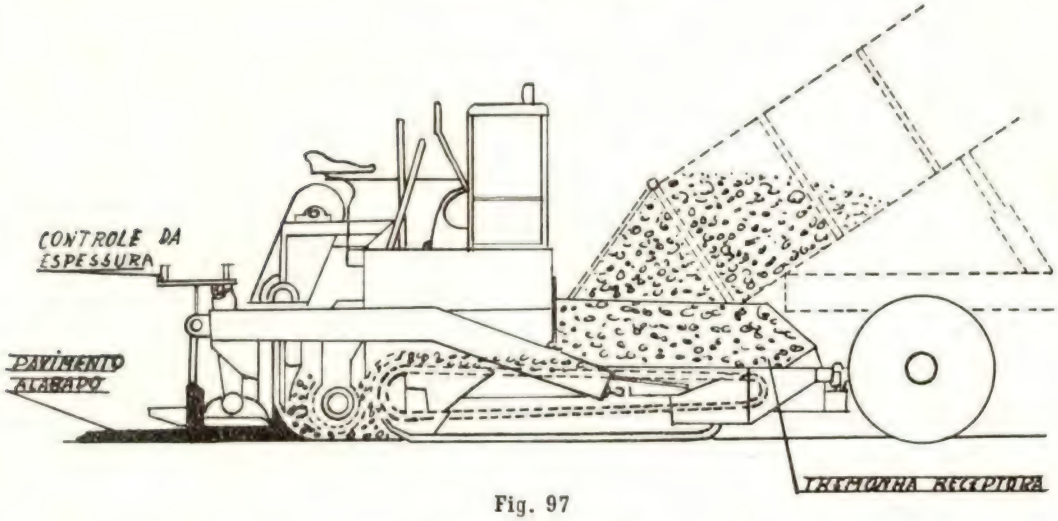


Fig. 97
(Diversos [4] pág. 184)

superfície, ao passo que a água de qualquer chuvada deslizará prontamente pelos taludes do monte de terras; é uma vantagem importante do método.

Calcula-se a secção recta do monte, e o seu volume por unidade de comprimento, o que permite estabelecer o espaçamento dos sacos e a velocidade a imprimir à máquina. Determina-se também o grau de humidade das terras, para avaliar a quantidade de água a juntar.

b) *Mistura.* As operações de mistura a seco e de mistura húmida do método anterior são agora reunidas numa só. Quando se usam betuminosos, a máquina é colocada no extremo da secção a pavimentar com os tanques de ligante e água em posição; carrega-se em seguida e põe-se a trabalhar, começando o seu deslocamento logo que têm lugar as primeiras descargas da mistura.

Com cimento, os sacos estão colocados ao longo da estrada (com alguns deles abertos), e o trabalho começa da mesma maneira. São necessárias frequentes determinações de controle do grau de humidade e da percentagem de estabilizador.

Quando se empregam asfaltos (particularmente S. S. O.) as operações de espalhamento e compactação podem ser executadas a seguir ou, indiferentemente, alguns dias depois. Já o mesmo não sucede com o cimento; então todas as operações seguintes se devem completar até cerca de 6 horas a partir do começo da mistura.

c) *Espalhamento.* Um espalhamento preliminar pode ser conseguido com cerca de 7 passagens do bulldozer ou niveladora (3 ao longo de cada margem e 1 alternadamente dum lado para o outro). Então controlam-se convenientemente as espessuras, acerta-se o que for necessário e passa-se o cultivador de dentes flexíveis como preliminar para a compactação.

Antes do início do espalhamento convém verificar a existência de qualquer ponto fraco na infrastrutura, substituindo-se e compactando-se o solo respectivo se se trata de pequenas áreas, ou arando e compactando noutros casos.

f) *Outras operações:* As restantes operações, de compactação e acabamento, executam-se como no método anterior.

Para a execução de 4.500 m² de camada de 15 cm por dia de 10 horas de trabalho, pode usar-se o seguinte material:

Máquina de mistura, móvel, tipo «Barber-Greene»	2
Auto-niveladoras ou «bulldozers» com lâmina de 3,60 m	2
Tractores de lagartas de 40 H. P.	2
Tractores de pneus de 30 — 40 H. P.	2
Grades de discos	1
Arado pesado	1
Cultivador de dentes flexíveis	1
Grade de dentes	1
Cilindros de pés de carneiro	2
Cilindros de rodas pneumáticas	1
Cilindro liso de 6 ≃ 8 ton.	1
Tanque de água de 450 litros	2
Tanque de asfalto de 450 a 900 litros	2
Camiões de 2 toneladas	6

Este material tanto serve para utilização mecânica, com cimento ou com Vinsol, como para estabilização com betuminosos. Neste último caso, são necessários mais 6 aquecedores de asfalto de 250 litros.

A organização do pessoal pode ser a exposta no método anterior, mas o número de motoristas é de 16 ou 14 e o de trabalhadores de 30 ou 45 conforme a estabilização se faz com betuminosos ou pelos outros processos.

São necessários mais três homens para o manejo da «Barber-Greene».

35 — Construção com estaleiro fixo

É o método usado há mais tempo sendo portanto perfeitamente conhecido, pelo que nos abstemos de entrar em pormenores.

36 — Utilização de agregados húmidos

Já fizémos ligeira referência à utilização de agregados húmidos. Tem enorme importância na construção de pavimentos em asfaltos de areia, variando os detalhes do trabalho conforme a areia existe no local, é extraída de jazigos próximos ou tem de vir do exterior.

(*Continua*)

PROCESSOS UNITÁRIOS DA QUÍMICA ORGÂNICA

POLIMERIZAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL MANUEL CHAGAS ROQUETTE
(Assistente do I. S. T.)

(Conclusão)

C. D. 661.73

c) *Factores que influenciam a moldação*

Do que anteriormente se expôs sobre a importância do preço do molde no valor de custo do produto acabado, conclui-se que o

I) tempo de moldação

será um factor decisivo, sob o ponto de vista económico, na moldação em grande escala.

Outros factores importantes estão também relacionados com o tempo de moldação e intervém naquela operação:

II) temperatura de moldação
III) pressão de moldação
IV) composição do pó de moldação
V) fluidez do pó de moldação

I) Tempo de moldação

O tempo de moldação no processo de extrusão está relacionado com o débito do material que é constantemente comprimido através dos orifícios de extrusão; o tempo de moldação na injecção é muito mais curto do que na compressão e depende principalmente das operações mecânicas necessárias ao enchimento do molde e da fluidez com que a massa a moldar enche o molde frio.

O tempo de moldação na compressão é constituído por diferentes parcelas:

a) abertura da prensa e introdução do pó de moldação
b) amolecimento e compressão do pó de moldação
c) cura (mecanismo final de polimerização)
d) extracção da peça moldada.

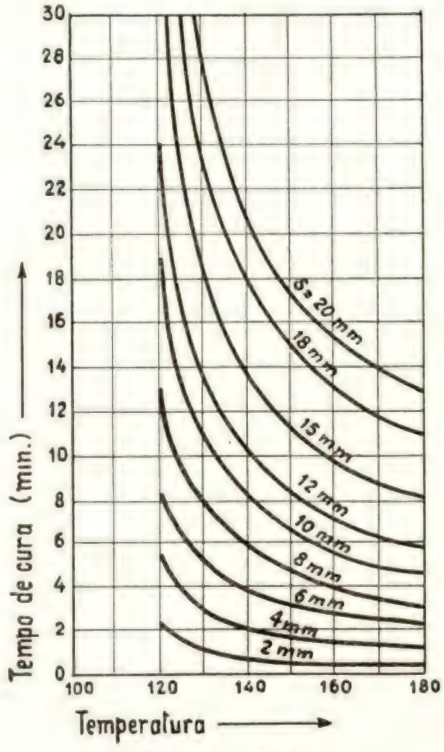
Apenas à parcela c) a única de interesse sob o ponto de vista da polimerização, nos referiremos. Esse tempo de cura seria proporcional à espessura das peças até 2 mm. Acima desta espessura o tempo aumentaria exponencialmente.

Segundo Geller verificar-se-ia a seguinte relação, aplicável, especialmente, aos amino-plastas:

$$t = k \cdot s^n$$

em que:

t = tempo de cura (em minutos)
k = constante
s = espessura máxima das paredes (em mm)
n = 1,4 a 1,5



Curvas de Geller

Na prática o tempo de moldação é determinado experimentalmente a partir da maior espessura da peça a moldar, tendo em atenção as características do pó de moldação.

Assim para a maioria dos fenoplastas, para peças não muito espessas, são precisos 0,5 a 1 minuto por mm de espessura máxima.

O tempo de cura, cresce muito mais ràpidamente do que a espessura da peça a moldar, o que está de acordo com as considerações de Geller, e se explica pela má condutibilidade calorífica dos materiais termo-reactivos. Se quisessemos moldar uma peça de dimensões médias ou grandes, num tempo muito reduzido, ainda que recorrendo a temperaturas mais elevadas, haveria grandes probabilidades da parte exterior da peça a moldar sofrer uma decomposição, enquanto o núcleo interior não tinha tido a cura suficiente.

O tempo de cura, e portanto a duração da moldação não são influenciados pela pressão, duma maneira apreciável, mas diminuem ràpidamente com a temperatura.

II) Temperatura de moldação

Nos processos de injecção e extrusão, normalmente, a temperatura a que é aquecida a carga de moldação, é a de amolecimento do material ou pouco superior, a fim de permitir uma viscosidade adequada. Na moldação por compressão das resinas termo-reactivas a determinação da temperatura é um problema mais delicado.

Vamos estabelecer uma expressão que permite relacionar a temperatura T da peça a moldar por compressão, num instante t, da operação de moldação com as características do pó e da técnica de moldação.

De facto é possível, para condições bem definidas (tipo e dimensões da peça a moldar, pressão, composição do pó de moldação) determinar os coeficientes experimentais necessários.

Admitindo que em qualquer instante t, na moldação duma resina termo-reactiva, a velocidade de polimerização é proporcional à quantidade de calor a libertar:

$$1) \qquad v = K\left(Q - \int_0^t q \, d\,t\right)$$

em que:

Q — quantidade de calor libertado numa polimerização completa

q — calor libertado pela reacção, por unidades de volume e de tempo

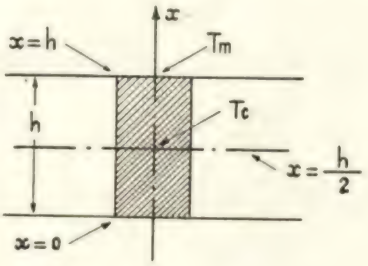
desta expressão se conclui que se deverá trabalhar, nas condições ideais, a uma temperatura, a que corresponda um valor máximo de K, e na prática dentro duma zona de temperaturas tão próxima quanto possível daquele valor.

A temperatura da peça a moldar tende a elevar-se devido a 3 causas:

1) exotermicidade da reacção de polimerização
2) aquecimento, por condutibilidade térmica, através do sistema punção — matriz
3) aquecimento devido aos trabalhos mecânicos realizados.

Utiliza-se um artifício que permite agrupar estas diferentes causas de elevação da temperatura em 2 categorias:

a) calor transmitido a um pequeno cilindro a moldar pelo sistema punção — matriz
b) calor desenvolvido (calor libertado na polimerização) no interior desse cilindro.



Suponhamos que se molda um disco, de espessura *h*, com um pó de moldação duma resina termo-reactiva. Se considerarmos

nesse disco, um cilindro, com a mesma altura, com pequeno diâmetro e cujo eixo coincida com o eixo do disco moldado, a equação geral de propagação do calor no interior deste volume será:

$$2) \qquad \frac{\lambda}{c\,\rho} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q}{c\,\rho} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

em que:

λ = condutibilidade calorífica
c = calor específico do pó a moldar
ρ = densidade do mesmo pó
T = temperatura
t = tempo
q = calor libertado pela reação, por unidades de volume e de tempo.

Seja, ainda:

T_c = Temperatura no centro da massa a moldar
T_m = Temperatura média do sistema matriz-punção.

A experiência mostrou que a variação de temperaturas, no interior da peça a moldar, está condicionada por uma expressão sinusoidal:

$$3) \qquad T = T_m - \Delta T \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{h}\,x\right)$$

sendo:

$$\Delta T = T_m - T_c$$

e T a temperatura num ponto de abcissa x. Derivando a relação 3):

$$4) \qquad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \Delta T \frac{\pi^2}{h^2} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{h}\,x\right)$$

e para:

$$x = \frac{h}{2}$$

$$T = T_c$$

a expressão 4) toma a forma simplificada:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \Delta T \frac{\pi^2}{h^2}$$

Substituindo, agora, em 2), este valor:

$$5) \qquad A\,\Delta T + \frac{q}{c\,\rho} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

em que:

$$A = \frac{\pi^2}{h^2} \cdot \frac{\lambda}{c\,\rho}$$

Experimentalmente pode determinar-se o valor médio de A.

Assim A. Horn, achou o valor $0{,}85 \times 10^{-2}$, para um pó de moldação à base de feno-plasta, para $h = 1{,}2$ cm e $T_m = 140$-$160°$ C.

A base do processo consiste em comprimir uma substância já completamente polimerizada, e então porque $q = 0$ a expressão 5) transforma-se em:

$$A.\,\Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$$

donde:

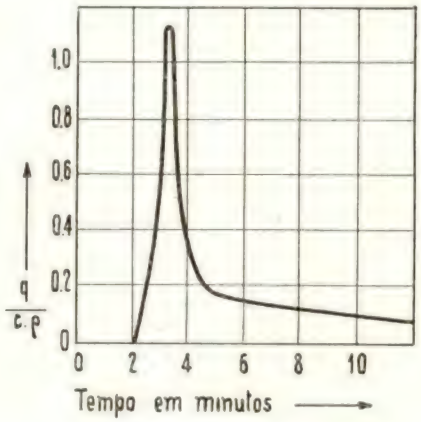
$$\frac{q}{c\,\rho} = \frac{\partial T c}{\partial t} - A\,\Delta T$$

No caso estudado por A. Horn:

$$\frac{q}{c\,\rho} = \frac{\partial T c}{\partial t} - 0{,}85 \times 10^{-2}\,\Delta T$$

Determinadas, experimentalmente, as curvas $T_m = f_1(t)$ e $Tc = f_2(t)$, a partir das medidas dos valores de $\frac{\partial T c}{\partial t}$ e de ΔT, pode estabelecer-se a relação:

$$\frac{q}{c\,\rho} = f_3(t)$$



No exemplo citado esta função tem o desenvolvimento gráfico indicado. Esta representação tem ainda a vantagem de dar uma indicação sobre o tempo mínimo da moldação: no exemplo considerado esse tempo seria de 5 minutos. Este valor corresponde, sensìvelmente, à inflexão da curva com a

recta (calor de polimerização já totalmente libertado, ainda que a transmitir parcialmente).

As funções f_1, f_2 e f_3 permitem, para qualquer valor de t, determinar o correspondente T, em condições análogas.

Ainda a partir do gráfico de f_3, pode calcular-se o valor do integral:

$$\int_0^t q\,dt$$

multiplicando as abcissas t, por $c\rho$, e medindo a área limitada pela curva e pelos novos valores destas abcissas.

O valor

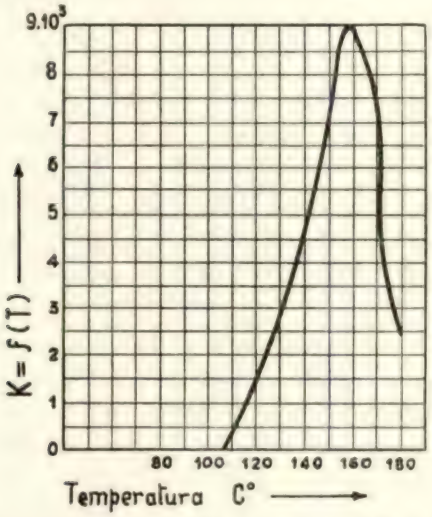
$$Q = \int_0^\infty q\,dt$$

pode determinar-se ou, experimentalmente, ou por extrapolação a partir de f_3.

Temos assim, já, os elementos, para utilizar a expressão 1.

K depende, lògicamente, de T_c.

Fazendo variar T_c, podem determinar-se os correspondentes valores de K. Na experiência realizada por A. Horn, a variação de $K = F(T)$, apresentava-se conforme o gráfico junto.



A temperatura ideal de moldação seria cerca de 160° C.

III — Pressão de moldação

A pressão de moldação tem, em geral, um valor mínimo para um determinado tipo de pó moldação, e um valor variável conforme a forma e dimensões do objecto a moldar. Quanto mais complicada ou mais espessa for a peça a fabricar, mais elevada deverá ser a pressão a fim de permitir um acabamento perfeito.

Existem determinados diagramas, estabelecidos experimentalmente, que permitem relacionar a temperatura, o tempo de cura e a pressão a utilizar. E porque tanto o tempo de cura, como a temperatura dependem, em última análise, do pó de moldação e das características da peça a moldar, esses gráficos relacionam, afinal, a pressão com as características do pó de moldação e do artigo a moldar, por meio de funções de função.

IV — Composição do pó de moldação

A composição do pó de moldação vai influenciar todas as variáveis da moldação. Por exemplo os aminoplastas são moldados a temperaturas inferiores aos feno-plastas; um feno-plasta à base de m-cresol será moldado em condições diferentes do que um plástico à base de fenol; para o mesmo tipo de resina fenólica, o emprego dum inerte à base de fibras curtas de algodão pode exigir um tempo de moldação superior, do que quando se emprega farinha de madeira . . .

Uma característica importante relacionada com a composição e propriedades físicas do pó de moldação é a contracção à moldação (bulk-factor). Define-se da seguinte maneira:

$$\text{contracção à moldação} = \frac{\text{volume do pó de moldação}}{\text{volume da peça moldada} + \text{barbelas}} = \frac{\text{peso específico após a moldação}}{\text{peso específico aparente antes da moldação}}$$

Para as substâncias termo-reactivas este valor oscila normalmente entre 1,5 e 3. É uma característica de conhecimento indispensável ao projectar-se o molde.

O emprego das máquinas calibradoras na moldação por compressão (que comprimem o pó de moldação sob a forma de pastilhas

compactas antes daquele ser introduzido nas prensas) diminui fortemente a contracção à moldação, além de permitir a dosagem da carga. Na moldação por injecção e extrusão utiliza-se muitas vezes o pó de moldação sob a forma de pequenos paralelipípedos: obtém-se assim menor contracção à moldação e, principalmente, maior facilidade de carga.

V — Fluidez do pó de moldação

Entende-se por fluidez dum pó de moldação a maior ou menor aptidão, que apresenta esse pó a encher o molde e a tornar-se rígido, por acção da temperatura e da pressão.

Esta característica é determinada por diferentes processos estandartizados e não pode ser considerada rigorosamente como o inverso de viscosidade.

A fluidez dum pó de moldação está directamente relacionada com o grau de polimerização deste. Quanto mais elevado for o valor do DP_n, menor será a fluidez, e também menor o tempo de cura, e, portanto, a duração da moldação. Por outro lado, não convém, por vezes, um valor baixo da fluidez, visto que o pó de moldação pode tornar-se rígido, por acção da pressão e da temperatura, antes de preencher completamente o molde.

Para certos inertes (por exemplo fibras) não convém que a fluidez seja muito elevada, porque há o perigo, de a resina, que estava a embeber o inerte, se deslocar, devido à sua fluidez, e dar-se uma heterogeneização do material, com os consequentes defeitos.

5 — Exemplo duma Polimerização Industrial

Obtenção de Fenoplastas à base de Fenol e de Formol

O fabrico é constituído pelas seguintes fases:

1) obtenção duma resina de baixo peso molecular e fusível
2) mistura da composição e preparação duma resina de maior peso molecular e termo-reactiva
3) moldação por compressão ou por transferência do plástico termo-reactivo.

1 — *Obtenção duma resina de baixo peso molecular e fusível*

Esta fase realiza-se em aparelhagem do tipo da que foi descrita nas Instalações Descontínuas. O aquecimento da autoclave é feito por camisa de vapor, e a agitação efectua-se por meio dum agitador de hélice.

As cargas (fenol, furfural, formol e catalizador) são introduzidas por canalizações laterais na autoclave de polimerização. Trabalha-se com excesso de fenol.

Ainda dentro desta fase podem-se considerar 2 sub-períodos:

a) condensação
b) deshidratação

a) *Condensação*

Durante esta operação há perigo de incêndio e explosão, se a temperatura se elevar demasiado, e assim esta é mantida dentro de determinados limites (130-140° C para as composições mais vulgares). A pressão oscila entre 1,1 a 1,5 kg/cm^2, podendo atingir os 2 kg/cm^2. O condensador de refluxo encontra-se ligado à autoclave e o de deshidratação está desligado. Deste modo o formol, que tende a libertar-se da autoclave, é obrigado a refluir,

Este ciclo para pequenas e médias produções e para as composições mais vulgares, ocupa cerca de 4 horas. O fim da operação é normalmente, denunciado por uma descida nítida de temperatura. Pára-se, então, a agitação e efectua-se uma lavagem com água, que tem por fim facilitar a separação da resina (que se deposita no fundo da autoclave no estado coloidal), e permite ainda a eliminação de impurezas, que serão arrastadas juntamente com a água, no período de deshidratação.

b) *Deshidratação*

Durante todo este ciclo mantém-se a agitação e o aquecimento. Desliga-se o condensador de refluxo e liga-se à autoclave o condensador de deshidratação. Trabalha-se agora sob pressão reduzida (0,3 a 0,6 kg/cm^2), utilizando uma bomba de vácuo.

Considera-se esta fase terminada, quando num visor em vidro do condensador de deshidratação, se observa que, juntamente com a água, começam a depositar-se, pedaços de resina.

Este período, nas condições indicadas para a operação precedente, dura cerca de 5 horas.

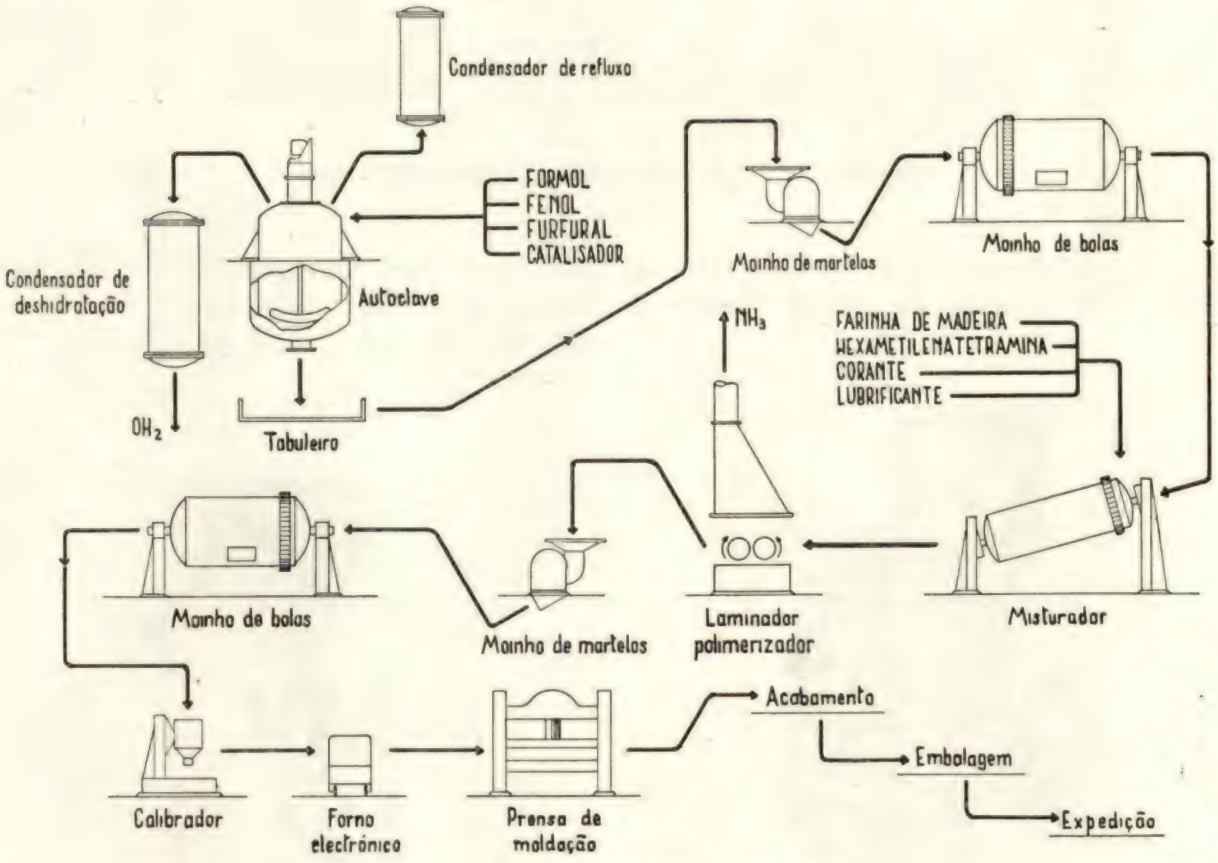
A descarga da resina faz-se por uma válvula de fundo da autoclave sobre tabuleiros, onde o produto solidifica e arrefece.

A resina apresenta-se com fractura semelhante à da colofónia e muito límpida, quando se utilizam boas matérias primas. Com o tempo tem tendência a escurecer.

2 — *Mistura da composição e obtenção duma resina de maior peso molecular e termo-reactivo*

O produto na fase anterior é triturado, primeiramente, num moinho de martelos e, depois, moído num moinho de bolas, donde segue para um misturador de eixo inclinado, onde se lhe adiciona o inerte (farinha de madeira), a hexametilenatetramina, o lubrificante e o corante. A farinha de madeira deve ter uma granulometria muito fina.

A mistura é, a seguir, lançada num misturador de 2 cilindros horizontais (laminador-polimerizador), rodando em sentidos contrários e com velocidades diferentes, e no interior dos quais circula vapor. Neste



Obtenção industrial dum plástico fenólico

misturador liberta-se grande quantidade de gases provenientes da combinação da hexametilenatetramina com o fenol e constituídos, essencialmente, por NH_3. Obtêm-se pastas sob a forma de chapas rugosas e quebradiças, que são trituradas e moídas.

O pó moído e com a composição necessária segue para uma máquina calibradora (máquina de fazer pastilhas) onde é comprimido sob a forma de pastilhas de peso constante.

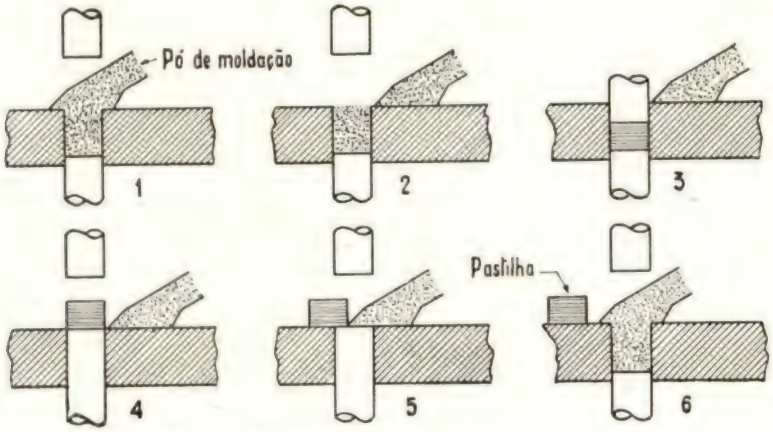
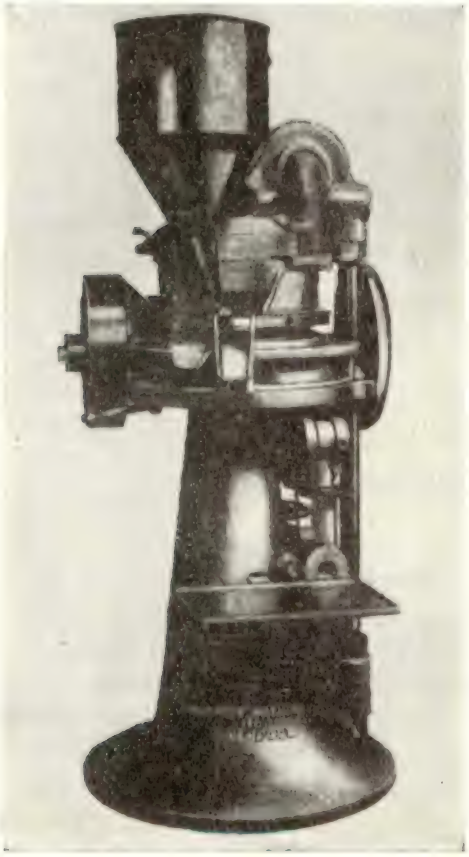


Diagrama de funcionamento duma máquina calibradora



Máquina calibradora

Forno de aquecimento electrónico

3 — *Moldação por compressão ou por transferência do plástico termo-reactivo*

Quando se pretende imprimir um ritmo rápido à produção, efectua-se, antes da moldação, o aquecimento (a 140-150° C) das pastilhas em muflas eléctricas vulgares ou fornos eléctricos de aquecimento electrónico. Esta prática diminui muito o tempo da moldação.

A moldação das pastilhas, já preaquecidas, é feita, normalmente, por compressão (a 150-180° C, 220-330 kg/cm^2). O molde é dimensionado de tal maneira que o peso da peça a moldar é um múltiplo do peso unitário duma pastilha.

Só quando a peça a moldar é muito pequena, da ordem dum sub-múltiplo do peso unitário duma pastilha, se recorre à moldação por transferência.

As peças moldadas são extraídas da prensa por acção dos extractores, ou ainda com o auxílio de ar comprimido. Seguem para as secções de acabamento, escolha, embalagem e finalmente para a expedição.

BIBLIOGRAFIA

BLAW-KNOX C.° — Production Units for Phenolic and Urea Resins — Bulletin n.° 2062.

BLAW-KNOX C.° — Resin Plants and Equipment — Bulletin n.° 2087.

CAROTHERS — Collected Papers of W. H. Carothers on High Polymeric Substances — publ. dirigida por Mark e Whithy — ed. Interscience (1940).

DUNLOP E REESE — Continuous Polymerization in Germany. Ind. Eng. Chem. 654 (1948).

FLORY — Molecular Size Distribution in Linear Condensation Polymers — J. Am. Chem. Soc. — 1877 (1936).

FLORY — Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers — J. Am. Chem, Soc. — 3083 (1941).

GIBELLO — Résines Vinyliques — ed. Dunod (1946).

GROGGINS — Unit Processes in Organic Synthesis — ed. McGraw-Hill (1947).

LAMBERT — Moulding of Plastics — ed. George Newnes (Londres) (1948).

MEDINA E VIAN — Resistencia Química de los Materiales — ed. Ciencia y Tecnica (Madrid) (1944).

MONTHÉARD — Phenoplastes — ed. Dunod (1947).

REESE E PERRY — Polymerization Units for Thermoseting Resins — Ind. Eng. Chem. 2039 (1948).

RIEGEL — Chemical Machinery — ed. Reinhold (1944).

SCHMIDT E MARLIES — Principles of High Polymer Theory and Practice — ed. McGraw-Hill (1948).

SIMONDS — Industrial Plastics — ed. Pitman (1945).

TALET — Aminoplastes — ed. Dunod (1946).

WARBURTON BROWN — Handbook of Engineering Plastics — ed. George Newnes (Londres) (1943).

WINDING — Polymerization — Ind. Eng. Chem. 1643 (1948).

WINDING — Polymerization — Ind. Eng. Chem. 1900 (1949).

BIBLIOTECA

PUBLICAÇÕES

Todas as publicações aqui indicadas, são pertença da Biblioteca da A. E. I. S. T.

C. D. 512.97

Élements de Calcul Tensoriel

Por A. LICHNEROWICZ

Colleccion Armand Colin

1950 — Págs. 216

Chapitre I — Les espaces vectoriels.
» II — Les espaces ponctuels affines et euclidiens.
» III — Algèbre Tensorielle.
» IV — L'espace euclidien en coordonnés curvilignes.
» V — Les espaces riemanniens.
» VI — Le calcul tensoriel et la dynamique classique.
» VII — La théorie de la relativité restreinte et les équations de Maxwell.
» VIII — Éléments de la théorie relativiste de la gravitation.

Dada a grande importância dos métodos tensoriais nas modernas teorias da Física e da Técnica, é este livro uma boa introdução necessária a essas teorias.

Numa primeira parte, os «Éléments de Calcul Tensoriel» apresentam-nos, duma maneira elementar mas com o devido rigor, a Álgebra Tensorial como continuação e complemento de Álgebra Vectorial e contém ensinamentos completos sobre a Análise Tensorial.

A segunda parte consta de várias aplicações do cálculo tensorial: à dinâmica clássica dos sistemas e meios contínuos, à electro-dinâmica, à teoria da relatividade réstrita e a alguns elementos da teoria relativista da gravitação.

É portanto, um livro de grande interesse para estudantes, engenheiros e físicos.

M. A. M. M.

C. D. 522.7

Lecciones de Astronomía Esférica

Por M. LANGREO

Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1944 — Págs. 224

C. D. 621

Parafusos — Passadores e espigas — Cunhas Cavaletes — Rebites e cravações

Pelo Eng.º ALBWIN OBERHOLZER

1.º Volume

Da «Biblioteca do Técnico Mecânico»

1949

Edições Técnicas — Porto

É bastante louvável a iniciativa desta Biblioteca, sob a direcção de Albwin Oberholzer e A. J. de Gouveia Neves, tanto mais que a escassez de livros técnicos portugueses leva-nos a consultar obras estrangeiras que são, muitas vezes, difíceis de adquirir.

No prefácio faz-se alusão ao valor do autor e ao bom acolhimento que o público dará ao presente volume. Não contestamos o valor do autor mas creio que o público não acolherá este primeiro volume da Biblioteca com o interesse e entusiasmo que os seus autores esperam.

O livro tem, incontestàvelmente, boa apresentação, mas a sua linguagem é por vezes incorrecta e, pior do que isso, contém alguns erros graves, muita terminologia fortemente invulgar e carece de cálculos e deduções básicas, principalmente, em parafusos e chavetas.

É um livro que se pode indicar para não especialistas ou que pode servir de guia nas escolas industriais.

Para a engenharia mecânica *não serve* pois tudo o que contém é largamente excedido nas cadeiras da especialidade do I. S. T. e nas obras congéneres estrangeiras.

António Abrantes

C. D. 531/534

Problemas de Mecánica General y Aplicada

Por F. WITTENBAUER

Editorial Labor, S. A.

1946 — Págs. 1039

Tomo I — Mecánica General.
» II — Elastecidad y Resistencia de materiales
» III — Liquidos e Gases.

2.096 problemas e suas soluções.

C. D. 539.31

Théorie de la Détermination Expérimentale des Contraintes par une Méthode n'éxigeant pas la Connaissance précise du module d'Elasticité

Por A. COUTINHO

Association Internationale des Ponts et Charpentes

1949 — Págs. 83/103

C. D. 548

Cristalografia

Por I. ROSO LUNA

Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1943 — Págs. 531

1.ª Parte — Fundamentos Geométricos de Morfologia Cristalina.
2.ª Parte — Fundamentos Geométricos de estroctura cristalina.

C. D. 549.1

Estudio Microscópico de Minerales y Rocas

Por A. BASELGA

Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1945 — Págs. 163

C. D. 549.6

Los Edifícios Atómicos de los Silicatos

Por JUAN ANTÓNIO COMBA

Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1946 — Págs. 56

C. D. 551.7

Cuadro Sistemático de las Formaciones Geologicas y de las Fases de Plegamiento

Por J. M. RIOS

Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1945 — Págs. 39

C. D. 552

Estudio y Classificación de las Rocas

Por ANTONIO BASELGA

Editorial Tradicionalista

1941 — Págs. 304

C. D. 621.3

Impianti Elettrici

Por ALDO POLETTINI

Giulio Vannini Editore — Brescia

1948 — Págs. 771

C. D. 622.341.2 (469)

Jazigos de Manganés do Alentejo

(Minas das herdades do Ferragudo e da Felipeja)

Por COSTA ALMEIDA, JOSÉ MARIA CONCEIÇÃO FERNANDES

Serviço de Fomento Mineiro

1948 — Vol. 7 — Pág. 17

C. D. 622.341.2 (469)

Jazigos de Manganés no Alentejo

(Mina da Serra dos Freitas)

Por FERNANDO JOSÉ DA SILVA

Serviço de Fomento Mineiro

1948 — Vol. 8 — Págs. 17

C. D. 624/628.003

El précio de coste en la construcción

Por RITTER, H.

Editorial Labor, S. A.

1947 — Págs, 176

C. D. 624/628

Manual del Ingeniero Constructor

Por SCHLEICHER, F.

Editorial Labor, S. A.

1948 — Págs. 2310 — 2 tomos

C. D. 624.131

Analyses of Pore Pressure and Settlement Observations at Logan International Airport

Por GOULD, JAMES P.

Harvard University

1949 — Págs. 70

Part A — Analysis of Pore Pressure Observations.
» B — Compression Characteristics of Fill and Fondation Materials.
» C — Analysis of Surface Settlement of Hydraulic Clay Fill.

C. D. 662.6/9

Combustibles

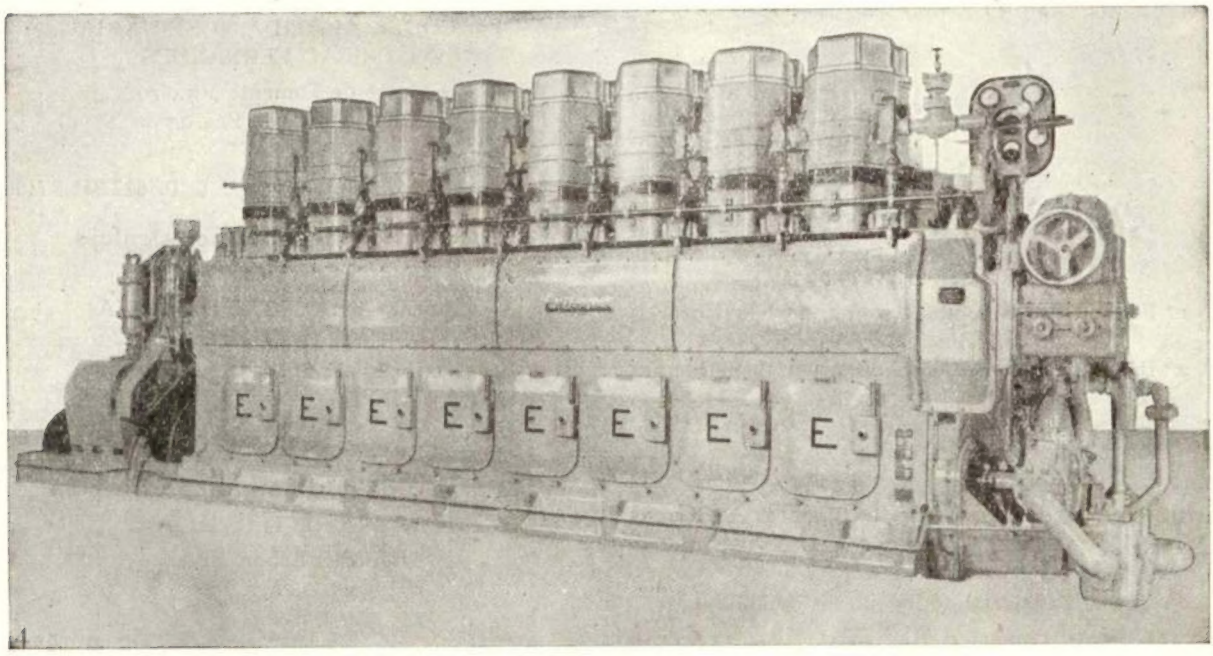
Por BRAME, J. S. S.; KING, J. G.

Editor Escuela Especial de Ingenieros de Minas

1946 — Págs. 531

ENTERPRISE

ENGINE & FOUNDRY COMPANY — U. S. A.



MOTORES DIESEL MARÍTIMOS — MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS

GRUPOS DIESEL-GERADOR

45 a 2100 HP — **200 a 850 RPM** — **3 a 8 cilindros**

- Bloco de cilindros fundido numa só peça.
- Base fundida numa só peça.
- Camisas em contacto directo com a água.
- Cabeças de cilindro individuais.
- Cambota em aço forjado.
- Tirantes em aço forjado, Tipo marítimo.
- Bombas de injecção individuais.
- Válvulas em aço « SILICHROME »
- Lubrificação forçada.
- Balanceiros com sistema hidráulico para eleminação de folga.
- Válvula de arranque em todos os cilindros.
- Com ou sem sobre-alimentação.

CONSTRUÇÃO ROBUSTA — SERVIÇO CONTÍNUO — ECONOMIA

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

AVENIDA ALMIRANTE REIS, 247, 1.º — **LISBOA**

REVISTAS

		C. D.
Aeroplane (The), n.os 2019 a 2021	Inglaterra	629.13
Análise, n.º 21	Portugal	016:53/54+62
Argentina Industrial, n.º 18	Argentina	351.824
Arquitectura, n.º 32	Portugal	72
Asea-Revue, n.º 6	Suécia	621.3
Boletim Cultural da Guiné Portuguesa, n.º 16	Guiné	7/9 (665.8)
Boletim da Junta de Exportação, n.º 3	Angola	382.6 (673)
Boletim Mensal de Estatística, n.os 11 a 12, 1949	Angola	31
Boletim Mensal de Informação do Laboratório de Engenharia Civil, n.º 10	Portugal	025.45:016:62+66/69
Brotéria, vol. L, fasc. 3	Portugal	1/3+7/8
Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, n.º 2, 1950	Bélgica	385
Bulletin Secheron, 21-F	Suíça	621.3
Cemento y Hormigón, n.º 191	Espanha	666.9
Chronique des Mines Coloniales (La), n.º 164	França	622
Compressed Air Magazine, n.º 2, 1950	E. U. A.	621 5
Dyna, n.º 2	Espanha	62+66/69
Engenharia, n.º 10	Portugal	62+66/69
Engineering, n.os 4386 a 4388	Inglaterra	62+66/69
Estudos (C. A. D. C.), n.º 284	Portugal	1/2+8
Excavating Engineer, n.º 2	E. U. A.	624.13
Gazeta dos Caminhos de Ferro, n.º 1493	Portugal	385
Gazeta de Física, fasc. 2	Portugal	53
Gazeta de Normalização, n.º 1	Portugal	389.6 (469)
Indice Cultural Español, n.º 48	Espanha	016:1/9 (46)
Informaciones Iram, n.º 10	Argentina	389.6
Máquinas e Metais, n.º 50	Portugal	621.9+546.3
Mensário das Casas do Povo (S. N. I.), n.º 45	Portugal	(05)(061)
Metallurgia, n.os 243 e 244	Inglaterra	669
Motor (O), n.º 8	Portugal	656(05)
Mundo Industrial, n.º 11	Argentina	62(05)
Ossature Metalique, n.º 2	Bélgica	924.014
Procedings of the Institution of Electrical Engineers (The), n.os 98 a 103	Inglaterra	621.3
Revista de Artilharia, n.º 296	Portugal	623
Revista Danfoss, n.º 4	Dinamarca	621(05)
Revista do Clube de Engenharia, n.os 141 a 160	Brasil	62+66/69
Revista Electrotécnica, n.º 2	Argentina	621.39
Revista Industrial y Fabril, n.º 40	Espanha	62+66/69
Revista Municipal de Engenharia, n.os 2 a 4	Brasil	624/628
Revista de Obras Públicas, n.º 2818	Espanha	624/628
Revista da Ordem dos Engenheiros, n.º 73	Portugal	62+66/69
Revue Brown Boveri, n.os 10-11	Suíça	921.3
Revue des Ingénieurs (La), n.os 1 a 6, 1948 e 1 a 3, 1949	França	62+66/69
Seara Nova, n.os 1152-53	Portugal	3+7/8

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta Biblioteca.

Engenharia Mecânica Electrotecnia

C. D. 621-34

Design Equations for Servomechanisms — *Benjamin Parzen.*

Electrical Communication, 9-949, vol. 26, n.º 3, págs. 249/256.

C. D. 621.313.333

Sobre el calculo de los motores asincrónicos — *U. Tentori.*

Revista Electrotécnica, 12-949, n.º 12, págs. 499/507.

Construções de alvenaria

C. D. 624.012.4

Diversidad de las aplicationes del hormigon precomprimido. (Continuação, fim) — *M. Lalande.*

La Ingenieria, 9-49, n.º 894, págs. 295/298.

Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, L.da

VENDA NOVA — AMADORA

•

CONDUTORES ELÉCTRICOS

C E L

Fabricados pela indústria nacional segundo as Normas de segurança das instalações de Baixa Tensão

•

CONCESSIONÁRIOS GERAIS:

SODIL — Sociedade Distribuidora, L.da

R. NOVA DA TRINDADE, 15-C

L I S B O A